Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1653-1661, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1653-1661, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ Γ.Σ.Π. ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, ΜΕ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ, ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΥΒΟΙΑ (ΕΛΛΑΣ)*

Α. ΒΑΛΑΔΑΚΗ-ΠΛΕΣΣΑ[1], Α. ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ[2], Σ. ΠΛΕΣΣΑΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας, ακολουθώντας τη διεθνή πρακτική και εμπειρία για βιώσιμη οικιστική ανάπτυξη, που προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού, εξετάζονται οι γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την οικιστική ανάπτυξη, τίθενται κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογούνται οι παράγοντες αυτοί και τελικά εκτιμάται η καταλληλότητα μιας έκτασης για οικιστική ανάπτυξη. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια μεθοδολογία προσέγγισης αυτού του θέματος, που εφαρμόσθηκε στη Νότια Εύβοια και βασίσθηκε στο συνδυασμό των χαρτογραφικών προϊόντων ενός Γ.Σ.Π. με μαθηματικά μοντέλα.

ABSTRACT

Recent years the strategy of an integrated planning approach in dealing with urban development matters, is a reality and geology plays a primary role. In this research, geologists need and use new tools and methods.

Geographical Information Systems (G.I.S.) in combination with mathematical models provide support for decision - makers, producing spatial correlation, analysis and mapping. Using (G.I.S.) for site selection and suitability, involves finding locations that satisfy a set of criteria. The criteria are defined as a set of deterministic rules and new spatial information is produced by using map modeling in cooperation G.I.S.

The presentation concerns to the Central Euboean island and describes four methods for integration G.I.S. and modeling in site selection suitable for urban development. Details about the two methods were described in a previous presentation (Alexouli-Livaditi, Valadaki-Plessa,1999). In the previous case methods were applied in a small area and in a scale of 1:5.000. This case concerns on a large area and were applied in a scale of 1:50.000.

The first method that is illustrated is the simplest one and is based on Boolean operations. Next, the same method using a weighted procedure is introduced. This is followed by a method using index overlay, where the input for modeling is multi-class and weighted maps. In the last method that is presented, the model uses fuzzy membership values.

The first step was to construct a series of maps for the area. Rules and classification were be applied, using G.I.S. Next, a combination of these maps, according to different models took place. For the area under consideration six factors were examined, the environmental protection, the average surface slope, the seismic hazard and seismic risk, and the underground water level. A final important constraint was that the selected area should be into the predefined boundaries.

In first method, supposed that the suitable area should be located so that all of six conditions were satisfied and was produced a single binary map with two classes. The final binary map is shown in Fig.I.

In the second case, the input maps were binary, as well as each map carried a single weight factor. The map for the area under consideration is shown in Fig.II.

In the third case, the map classes occurring on each input map were assigned different scores, as well as the maps themselves receiving different weights as before. Fig. III shows the output map.

The last method improved on the linear additive nature of the previous model because scores were expressed as members of a fuzzy set. Fig. IV shows the output

map for the area under consideration, where scores (as members of a fuzzy set) were combined with the function of fuzzy algebraic product.

In conclusion, integration G.I.S. with modeling, in a large area and in a small scale produced new spatial

* INTEGRATION G.I.S. AND MODELING IN SITE SELECTION SUITABLE FOR URBAN DEVELOPMENT, SATISFYING GEOLOGICAL CRITERIA, IN THE CENTRAL EUBOEAN ISLAND (GREECE).

1. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Τρικάλων 36 και Μεσογείων, Αθήνα.
2. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Αθήνα.

information and output maps ready to use by urban planners in decision making. Therefore, the four methods could be applied in large or small areas, and in any scale. The first and the second methods are simple enough. Using last two methods, the area under consideration was ranked in suitability classes in a more flexible combination. Notice that in this area (large enough) and for a research in small scale, urban planners utilized the output map from the second model (input binary maps, using weight factors).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Πολεοδομικός σχεδιασμός, Γεωλογική καταλληλότητα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

KEY WORDS: Urban planning, Site suitability, G.I.S., modeling.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της διαδικασίας για την αναζήτηση της καταλληλότερης θέσης για οικιστική ανάπτυξη, εξετάζοντας τους γεωλογικούς παράγοντες με βάση μια σειρά από κριτήρια, εφαρμόζοντας τα απλούστερα μοντέλα της Boolean και της Index Overlay ανάλυσης, καθώς και ένα πιο σύνθετο μοντέλο, όταν έχει προηγηθεί ανάλυση κατά Fuzzy Logic. Επίσης, στα πλαίσια της εργασίας αξιολογούνται τα χαρτογραφικά αποτελέσματα της εφαρμογής των μοντέλων αυτών.

Η ιδέα για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας βασίσθηκε στις εφαρμογές με τη χρήση μοντέλων που παρουσιάζονται από Bonham-Carter (1994) και περιγράφηκε εκτενώς από τους Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Βαλαδάκη-Πλέσσα κ.ά (1999), και δοκιμάσθηκε στην προς οικιστική ανάπτυξη περιοχή του Πόρτο Χελίου. Η παρούσα εφαρμογή αφορά στη περιοχή της Νότιας Εύβοιας που αναπτύσσεται στο βόρειο τμήμα του Ν. Ευβοϊκού Κόλπου, όπου η οικιστική ανάπτυξη έχει ένα ταχέως αυξανόμενο ρυθμό και απαιτείται να προϋπάρξει ολοκληρωμένος σχεδιασμός και εκτίμηση της καταλληλότητας της περιοχής, από γεωλογική άποψη.

Η προηγούμενη εφαρμογή ήταν σε σχετικά μεγάλη κλίμακα (1:5.000), αφορούσε σε μικρή έκταση και τα αποτελέσματά της έτυχαν άμεσης εφαρμογής στον πολεοδομικό σχεδιασμό. Με την παρούσα εργασία δοκιμάζεται η μεθοδολογία σε μια εκτεταμένη περιοχή και για τις ανάγκες πολεοδομικού σχεδιασμού με επιτελικό χαρακτήρα (κλίμακα πολεοδομικών χαρτών 1:25.000). Τα Γ.Σ.Π., με βάση τη μεθοδολογία αυτή, παράγουν τα απαραίτητα δεδομένα για την ανάπτυξη του μοντέλου, συνδυάζοντας και συσχετίζοντας τις χωρικές πληροφορίες που έχουν αποθηκευθεί σε διαφορετικούς χάρτες στη γεωγραφική βάση δεδομένων, εφόσον οι τελεστές του μοντέλου είναι χωρικές πληροφορίες.

II. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιέλαβε (α) εργασίες ανάπτυξης Γ.Σ.Π. και ακολούθησαν (β) εργασίες γεωγραφικής ανάλυσης και εφαρμογής των μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα:

α) Επιλέχθηκαν οι προς εξέταση γεωλογικοί παράγοντες, και δημιουργήθηκαν τα ανάλογα χαρτογραφικά επίπεδα. Επισημαίνεται ότι οι γεωλογικοί παράγοντες που εξετάζονται κάθε φορά εξαρτώνται από τη θέση της περιοχής έρευνας και από την κλίμακα του έργου. Η κλίμακα προσδιορίζει την ακρίβεια και τη λεπτομέρεια των στοιχείων. Για την παρούσα εργασία, προκειμένου να παρουσιασθεί καλύτερα η μεθοδολογία, εξετάσθηκαν:

- Το περιβαλλοντικό ενδιαφέρον περιοχών, που πρέπει να εξαιρεθούν από την οικιστική ανάπτυξη (Ορια NATURA σε κλίμακα 1:50.000).
- Η μορφολογική κλίση (αξιοποίηση D.E.M., από τοπογραφικούς χάρτες Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000).
- Η σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής, σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 (Σχήμα 2.2 του ΕΑΚ 2000).
- Η σεισμική επικινδυνότητα του εδάφους, σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000. (Οι γεωλογικοί σχηματισμοί των χαρτών του ΙΓΜΕ, διακρίθηκαν σύμφωνα με τον Πιν.2.5 του ΕΑΚ 2000).
- Η επικινδυνότητα από πλημμύρες (Μεταξάτος 1999, χάρτες 1:25.000).
- Η επικινδυνότητα από φαινόμενα αστάθειας, καθώς και τα προβλήματα που πιθανώς να δημιουργηθούν στις θεμελιώσεις από την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, αξιοποιώντας υπάρχουσες μελέτες.

Όλα τα χαρτογραφικά δεδομένα εισήχθηκαν στο Γ.Σ.Π., αφού πρώτα μεταφέρθηκαν στο ίδιο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς και σε κλίμακα 1:25.000.

β) Στη συνέχεια τέθηκαν τα κριτήρια και για το κάθε μοντέλο ορίσθηκαν οι συνθήκες που ικανοποιούν ή δεν ικανοποιούν μια προκαθορισμένη μαθηματική σχέση. Το πρώτο κριτήριο αφορά στον υγροβιότοπο της λίμνης Δύστος που σε κάθε περίπτωση πρέπει να μείνει εκτός οικιστικής ανάπτυξης. Το δεύτερο κριτήριο

αφορούσε στις μορφολογικές κλίσεις που διακρίθηκαν σε κατηγορίες τιμών ανά 5% και θεωρήθηκαν δυσμενείς οι περιοχές με μορφολογική κλίση μεγαλύτερη από 25%. Από βιβλιογραφικά στοιχεία (Μιχαλοπούλου 1999 και Μεταξάτος 1999) προκύπτει ότι στις περιοχές περί τις εκβολές του Λίλαντα ποταμού υπάρχει κίνδυνος πλημμυρών και κατά θέσεις αναμένεται υδροφόρος ορίζοντας στο βάθος θεμελίωσης. Οι δυσμενείς συνθήκες σ' αυτές τις περιοχές έπρεπε να ληφθούν επίσης υπόψη στο σχεδιασμό. Τα τελευταία κριτήρια αφορούν στη σεισμική επικινδυνότητα. Η ερευνηθείσα περιοχή ανήκει σε δυο ζώνες (κατά ΕΑΚ 2000) σεισμικής επικινδυνότητας, στην Ι και στη ΙΙ, με πλεονεκτικότερες τις περιοχές που ανήκουν στη ζώνη Ι. Συνεπώς, κατά την ανάπτυξη των μοντέλων, οι περιοχές της ζώνης Ι, είχαν διαφορετική βαρύτητα από εκείνες της ζώνης ΙΙ. Ανάλογα αντιμετωπίσθηκαν οι περιοχές έρευνας ως προς τη κατηγορία της σεισμικής επικινδυνότητας του εδάφους, κατά ΕΑΚ 2000. Κρίθηκε ότι οι συνθήκες είναι δυσμενείς στις περιοχές της κατηγορίας (Χ) και οι λοιπές περιοχές αξιολογήθηκαν αναλόγως, θεωρώντας ότι στις (Α) επικρατούν άριστες συνθήκες που μειώνονται συγκριτικά και κατά σειρά στις λοιπές κατηγορίες (Β), (Γ) και (Δ).

Μετά τον ορισμό των κριτηρίων για το κάθε μοντέλο ακολούθησε ο σχεδιασμός της διαδικασίας εφαρμογής αυτών των συνθηκών με την αξιοποίηση του Γ.Σ.Π. Τέλος, δοκιμάσθηκαν τα διάφορα μοντέλα και αφού κρίθηκε το αποτέλεσμα, με βάση τη γεωλογική λογική, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της παρουσίασης των χαρτών.

ΙΙ.1 Ανάλυση με Boolean λογικό μοντέλο

Το μοντέλο της Boolean ανάλυσης βασίζεται στο λογικό συσχετισμό χαρτών δυο μεταβλητών που προκύπτουν ως χαρτογραφικό προϊόν από την αξιολόγηση τελεστών - κριτηρίων. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, κάθε κριτήριο παρουσιάζεται σε χάρτη δυο μεταβλητών. Δηλαδή, στον κάθε χάρτη διακρίθηκαν περιοχές:

α) όπου ικανοποιείται μια προϋπόθεση (Con1, Con2... = TRUE) και παίρνουν την τιμή 1 (Con = 1) και

β) όπου δεν ικανοποιείται η προϋπόθεση - συνθήκη (Con1, Con2... = FAULSE) και παίρνουν την τιμή 0 (Con = 0).

Για την εφαρμογή του πρώτου μοντέλου, υποθέτουμε ότι η κατάλληλη περιοχή για οικιστική ανάπτυξη πρέπει να ικανοποιεί όλα τα κριτήρια και τις συνθήκες του Πιν.1.

Πιν.1: Προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιεί μια θέση στο μοντέλο της Boolean ανάλυσης.
Table 1:Conditions which must be satisfied by a location, in Boolean logic model.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΫΠΟ ΘΕΣΗ	ΣΥΝΘΗΚΗ
1. *Η πε ριοχή πρέπει να ανήκει στην προς έρευνα έκταση (Επειδή οι πληροφορίες αφορούσαν σε μεγαλύτερη έκταση)*	**Con1 = 1**	AND
2. *Να μην είναι σε ζώνη περιβαλλοντικής προστασίας*	**Con2 = 1**	AND
3. *Να έχει μορφολογική κλίση < 20%*	**Con3 = 1**	AND
4. *Να μην βρίσκεται σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ*	**Con4 = 1**	AND
5. *Να μην ανήκει σε σχηματισμό εδαφικής επικινδυνότητας Χ*	**Con5 = 1**	AND
6. *Ο υδροφόρος ορίζοντας να μη συναντάται στο βάθος των θεμελιώσεων.*	**Con6 = 1**	AND

Δηλαδή, στις κατάλληλες περιοχές πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

OUTPUT = (Con1 AND Con2 AND Con3 AND Con4 AND Con5 AND Con6)

Ο τελικός χάρτης, που προέκυψε από το συνδυασμό των επί μέρους χαρτών – κριτηρίων, είναι ένας χάρτης όπου στη περιοχή έρευνας διακρίθηκαν δυο κατηγορίες, αναλόγως εάν ικανοποιούνται ή μη το σύνολο των κριτηρίων και παρουσιάζεται στο Σχ.Ι. Παρατηρείται ότι η μέθοδος έχει ένα απόλυτο χαρακτήρα και δεν επιτρέπει τη διάκριση περισσότερων επί μέρους κατηγοριών, επειδή δεν επιτρέπει τη προσθήκη κάποιου συντελεστή βαρύτητας στα κριτήρια. Για το λόγο αυτό μπορεί να εφαρμόζεται μόνο στις περιπτώσεις που θέλουμε να αποκλειστούν από το σχεδιασμό όσες περιοχές δεν ικανοποιούν συγχρόνως όλα τα κριτήρια. Με βάση αυτή τη θεώρηση στην παρούσα έρευνα απορρίφθηκε το προϊόν του μοντέλου.

ΙΙ.2 Μοντέλο με Boolean λογική και συντελεστές βαρύτητας.

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτής της κατηγορίας, στους χάρτες δυο μεταβλητών της λογικής κατά Boolean, προστίθενται συντελεστές βαρύτητας, σύμφωνα με μια λίστα βαρών, αναλόγως με τη βαρύτητα που υποθέτου-

με ότι έχουν οι επί μέρους χάρτες δυο μεταβλητών που συντάχθηκαν με τη Boolean λογική.

Ετσι, σε κάθε χάρτη - κριτήριο δόθηκε κατ' εκτίμηση η αρμόζουσα βαρύτητα (π.χ. W1 .... Wn). Κατ' αυτόν τον τρόπο, για παράδειγμα, οι περιοχές δυο μεταβλητών όπου ικανοποιείται η συνθήκη CON1 = TRUE, παίρνουν την τιμή W1χ1 = W1, ενώ οι περιοχές όπου δεν ικανοποιείται η συνθήκη παίρνουν την τιμή W1χ0 = 0, οι περιοχές όπου ικανοποιείται η συνθήκη CON2 = TRUE, παίρνουν την τιμή W2χ1 = W2 και οι περιοχές όπου δεν ικανοποιείται η συνθήκη παίρνουν την τιμή W2χ0 = 0, κ.ο.κ.

Το τελικό προϊόν προκύπτει από το άθροισμα των επί μέρους χαρτών - κριτηρίων και γιά λόγους κανονικοποίησης, το αποτέλεσμα αυτό διαιρείται διά του αθροίσματος των συντελεστών βαρύτητας. Δηλαδή για κάθε θέση ισχύει η σχέση:

Το χαρτογραφικό αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής, αφού έγινε η διάκριση των κατηγοριών, παρουσιάζεται στο Σχ. ΙΙ, όπου διακρίνονται περιοχές που ικανοποιούν πλήρως τις προϋποθέσεις, περιοχές που ικανοποιούν μερικώς και περιοχές που καλύπτουν ελάχιστα ή καθόλου τα κριτήρια (παρουσιάζονται με μαύρο). Στη δεύτερη και στην τελευταία κατηγορία κατατάχθηκαν οι εκτάσεις που συνδυάζουν περισσότερες της

$$\text{OUTPUT} = \frac{(W1*Con1 + W2*Con2 + W3*Con3 + W4*Con4 + W5*Con5 + W6*Con6)}{SUMW}$$

μιας δυσμενείς συνθήκες για οικιστική ανάπτυξη. Το μοντέλο αυτό, συγκρινόμενο με το προηγούμενο, (της Boolean ανάλυσης), έδωσε μεγαλύτερες δυνατότητες για πιο ευέλικτες προσεγγίσεις. Επισημαίνεται όμως, ότι η διάκριση της εξεταζόμενης έκτασης σε κλάσεις, έγινε ύστερα από τη δοκιμή διαφορετικών συνδυασμών ταξινόμησης, που εξαρτώνται από το εύρος των τιμών, την αριθμητική κατανομή τους και την κατανομή τους στο χώρο, καθώς και από το αντικείμενο που επιδιώχθηκε να προβληθεί. (Biggs, de Ville, Suen 1991). Η επισήμανση αυτή ισχύει και για τα προϊόντα των επομένων μοντέλων, όπου δοκιμάσθηκαν επίσης διάφοροι τρόποι διάκρισης των κατηγοριών καταλληλότητας.

ΙΙ.3 Μοντέλο με συντελεστές βαρύτητας σε χάρτες με πολλές μεταβλητές.

Τα χαρτογραφικά επίπεδα (layers) έχουν τοπολογία και συνοδεύονται από πίνακες στη Βάση Δεδομένων που περιέχουν όλες τις πληροφορίες σχετικά με τις τάξεις και τις κατηγορίες των διαφόρων χαρακτηριστικών. Σε κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες δόθηκε ένας συντελεστής βαρύτητας, σε μια κλίμακα. Στην παρούσα εφαρμογή τα σχετικά πεδία ονομάσθηκαν RECOR1, RECOR2, RECOR3 κ.λ.π., και σαν παράδειγμα αναφέρουμε ότι το πεδίο που αφορά στις μορφολογικές κλίσεις (RECOR3) πήρε τις τιμές που παρουσιάζονται στον Πιν.2 Οι κατηγορίες που πρέπει να εξαιρεθούν (π.χ. περιβαλλοντικά προστατευταίες), παίρνουν τιμές (-1), που ισοδυναμούν με μη ανεκτές τιμές.

Πιν.2: Παράδειγμα πίνακα στη γεωγραφική βάση δεδομένων.
Table 2: An example of an attribute table in the geographical database.

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι επί μέρους χάρτες συσχετίσθηκαν, ούτως ώστε, κάθε σημείο του τελικού προϊόντος πήρε τιμή με βάση το συντελεστή βαρύτητας του χάρτη και το συντελεστή βαρύτητας της κατηγορίας, και

SLOPE CODE	RECORD3	FUZZY3
Παίρνει τιμές:	Παίρνει τιμές:	Παίρνει τιμές:
1. Για τιμή 0 - 5 %	**7,** για SLOPE - CODE = 1	**1.00,** για SLOPE - CODE= 1
2. Για τιμή 5 - 10 %	**6,** για SLOPE - CODE = 2	**0.75,** για SLOPE - CODE = 2
3. Για τιμή 10 - 15 %	**5,** για SLOPE - CODE = 3	**0. 50,** για SLOPE - CODE = 3
4. Για τιμή 15 - 20 %	**4,** για SLOPE - CODE = 4	**0.25,** για SLOPE - CODE = 4
5. Για τιμή > 20 %	**2,** για SLOPE - CODE = 5	**0.00,** για SLOPE - CODE = 5

για λόγους κανονικοποίησης το αποτέλεσμα αυτό διαιρέθηκε δια του αθροίσματος των συντελεστών βαρύτητας.

Συνεπώς για το τελικό προϊόν (OUTPUT), για κάθε θέση, ισχύει η σχέση:

Οπου SUMW, το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας. Κατ' αυτόν τον τρόπο κάθε πολύγωνο του τελικού προϊόντος (OUTPUT) παίρνει τιμή από την παραπάνω σχέση.

$$\text{OUTPUT} = \frac{(W1xRECOR1) + (W2xRECOR2) + \ldots\ldots + (W5XRECOR5) + (W5XRECOR5)}{SUMW}$$

Στην παρούσα εφαρμογή διακρίθηκαν τέσσερις κατηγορίες με βάση την ισοκατανομή του αριθμού των στοιχείων του πληθυσμού και το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχ. ΙΙΙ. Παρατηρούμε ότι η μεθοδολογία της index

overlay ανάλυσης σε χάρτες με πολλές μεταβλητές, επέτρεψε τη διάκριση των περιοχών που με το προηγούμενο μοντέλο χαρακτηρίσθηκαν ως άριστες ή μέτριες, σε λεπτομερέστερες ζώνες. Συνεπώς το μοντέλο αυτό δίνει τη δυνατότητα μιας λεπτομερέστερης διάκρισης των περιοχών με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν εξ αρχής.

II.4 Ανάπτυξη μοντέλου μετά από fuzzy logic επεξεργασία.

Το βασικό μειονέκτημα των index overlay μοντέλων είναι ο γραμμικός τρόπος με τον οποίο αθροίζονται οι προϋποθέσεις. Αυτό μπορεί να ξεπερασθεί με την εφαρμογή της λογικής fuzzy στον υπολογισμό των τιμών. Το κάθε μέλος μιας ομάδας fuzzy στοιχείων, εκφράζεται σε μια κλίμακα συνεχή, όπου το πλήρες μέλος έχει την τιμή 1, το μη μέλος έχει την τιμή 0 και τα υπόλοιπα μέλη κινούνται σε ένα εύρος τιμών, που περιλαμβάνει όλες τις ενδιάμεσες τιμές, θεωρώντας ότι η κατανομή είναι ομοιόμορφη. Πρακτικά, στο σχετικό πεδίο (field) της γεωγραφικής Βάσης Δεδομένων προστίθενται οι τιμές που προκύπτουν από τη fuzzy λογική. Για παράδειγμα οι τιμές που δόθηκαν στο πεδίο (με το όνομα FUZZY3) που αφορά στις μορφολογικές κλίσεις δόθηκαν οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πιν.2.

Στη συνέχεια οι επί μέρους χάρτες συνδυάζονται μεταξύ τους, με διάφορες μεθόδους προκειμένου να αναπτυχθεί ένα μοντέλο με βάση το οποίο θα γίνει η κατάταξη των εξεταζόμενων περιοχών. Από τις προτεινόμενες μεθοδολογίες (Zimmerman, 1985) ανάπτυξης μοντέλων επιλέχθηκε για παρουσίαση (Σχ. IV) το αποτέλεσμα του fuzzy αλγεβρικού γινομένου (fuzzy algebraic product), κατά το οποίο το αποτέλεσμα του συνδυασμού των fuzzy τιμών δυο ή περισσοτέρων χαρτών τείνει συνεχώς προς μικρότερες τιμές από τα αρχικά μέλη. Για παράδειγμα το αλγεβρικό γινόμενο δυο μελών με τιμές (0.75, 0.25) είναι 0,1875. Κατά το μοντέλο αυτό κάθε μέλος επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα, όσο μικρή τιμή και αν έχει. Ο χάρτης του Σχ. IV παρουσιάζει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τις κατηγορίες από τις κακές συνθήκες στις άριστες και βοηθά στον πιο ευέλικτο και ορθολογικό σχεδιασμό.

Συγκρίνοντας τα χαρτογραφικά προϊόντα των τριών τελευταίων μοντέλων, διαπιστώθηκε ότι για τις ανάγκες ενός ολοκληρωμένου επιτελικού σχεδιασμού για την οικιστική ανάπτυξη της περιοχής έρευνας, τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από την εφαρμογή του δεύτερου μοντέλου, διότι το χαρτογραφικό προϊόν που προέκυψε από την διαδικασία αυτή, δεν χανόταν στις λεπτομέρειες των δυο τελευταίων μοντέλων. Η λεπτομερέστερη διάκριση των κατηγοριών δεν βοηθά τον πολεοδόμο σε ένα επιτελικό σχεδιασμό, ώστε να θέσει, με τη σειρά του, τα δικά του κριτήρια που αφορούν στους πολεοδομικούς παράγοντες και να εφαρμόσει αντίστοιχα μοντέλα.

III. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Στα πλαίσια της διερεύνησης της καταλληλότητας μιας περιοχής για βιώσιμη οικιστική ανάπτυξη, απαιτείται η συνεξέταση όλων των παραγόντων, που την επηρεάζουν και η τοποθέτηση κριτηρίων για την διάκριση της περιοχής σε ζώνες διαφορετικού βαθμού καταλληλότητας. Οι χάρτες που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων και τον επιτελικό σχεδιασμό. Μέσα σε αυτά τα πλαίσια η εξέταση των γεωλογικών παραγόντων κατέχει πρωτεύουσα θέση και οι γεωεπιστήμονες καλούνται να βρουν νέες μεθοδολογίες που να επεξεργάζονται και να διαχειρίζονται, σε μικρό χρονικό διάστημα, το μεγάλο πλήθος των πληροφοριών, να τις συνδυάζουν και να τις συσχετίζουν αξιοποιώντας τα προτερήματα που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες.
2. Τα Γ.Σ.Π. σε συνδυασμό με μοντέλα χρησιμοποιούνται για τη διάκριση περιοχών σε κατηγορίες ως προς τη γεωλογική καταλληλότητά τους, για οικιστική ανάπτυξη. Οι κατηγορίες διακρίνονται αναλόγως του αριθμού των παραγόντων που εξετάζονται, των κριτηρίων που ικανοποιούνται και αναλόγως της βαρύτητας που έχουν τα κριτήρια αυτά. Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ως άριστες ικανοποιούν το σύνολο των προϋποθέσεων που τίθενται, ενώ οι περιοχές που χαρακτηρίζονται ότι έχουν κακές συνθήκες ικανοποιούν καμία ή ελάχιστες από τις προϋποθέσεις που τίθενται αρχικά. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν και οι ενδιάμεσες κατηγορίες που προβάλλονται καλύτερα όταν εφαρμόζονται μοντέλα που δίνουν πιο ευέλικτα προϊόντα.
3. Στην παρουσίαση αναφέρθηκαν απλά και πιο σύνθετα μοντέλα, που έχουν εφαρμογή σε ανάλογες περιπτώσεις, αναζήτησης της καταλληλότερης θέσης. Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου εξαρτάται από το σκοπό που θέλει να εξυπηρετήσει. Πάντως, όπως προέκυψε από την παρούσα έρευνα, τα πιο σύνθετα μοντέλα είναι πιο προσαρμοστικά και δίνουν τη δυνατότητα της διάκρισης του χώρου σε περισσότερες κατηγορίες, με την προϋπόθεση όμως ότι υπάρχει πολύ καλή γνώση των επί μέρους παραγόντων.
4. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας σε μια εκτεταμένη περιοχή, για επιτελική διερεύνηση της καταλληλότητας ως προς τις γεωλογικές συνθήκες, έδωσε εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα με εκείνα που είχαν παρουσιασθεί σε προηγούμενη ανακοίνωση (Λειβαδίτη-Αλεξούλη, Βαλαδάκη-Πλέσσα,1999) και αφορούσαν σε

μικρότερη περιοχή και μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Στην παρούσα περίπτωση όμως, τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν από την εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου. Τα χαρτογραφικά προϊόντα των πιο σύνθετων μοντέλων οδήγησαν σε διάκριση της περιοχής έρευνας σε πολύ λεπτομερείς ζώνες καταλληλότητας, που δεν βοηθούσαν την επιτελική θεώρηση, η οποία υπαγορευόταν από την πολεοδομική κλίμακα (1:25.000). Ενώ στην προηγούμενη περίπτωση είχε επιλεγεί για αξιοποίηση στον πολεοδομικό σχεδιασμό το προϊόν του τέταρτου μοντέλου που έδινε μεγαλύτερη λεπτομέρεια, καθόσον η κλίμακα πολεοδόμησης ήταν 1:5.000.

5. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος που θα χωρισθεί σε κλάσεις-κατηγορίες το χαρτογραφικό προϊόν του μοντέλου. Θα χρειασθεί να αναζητηθεί η καταλληλότερη μέθοδος προκειμένου να προβληθούν οι ενδιαφέρουσες θέσεις, είτε να τονισθούν οι περιοχές που συγκεντρώνουν τις ελάχιστες προϋποθέσεις. Πρέπει όμως συγχρόνως να παρουσιάζονται και οι ενδιάμεσες περιοχές κατά τρόπο που να επιτρέπει τη διάκρισή τους σε κατηγορίες, ώστε να δίνεται μεγαλύτερη ευελιξία στον επιτελικό σχεδιασμό.
6. Τέλος επισημαίνονται οι κίνδυνοι από τη χρήση μοντέλων, εάν δεν αξιολογούνται πρώτα σύμφωνα με την επιστημονική λογική. Η ανάπτυξη των μοντέλων πρέπει να γίνεται κατά πλήρως ελεγχόμενο τρόπο υπό την καθοδήγηση και αξιολόγηση ειδικών στο γνωστικό αντικείμενο επιστημόνων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΛΕΞΟΥΛΗ-ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ Α, ΒΑΛΑΔΑΚΗ-ΠΛΕΣΣΑ Α., ΠΛΕΣΣΑΣ Σ., ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ, Γ., 1999, Αξιοποίηση των Γ.Σ.Π. στην ανάπτυξη μοντέλων για την επιλογή της καταλληλότερης θέσης για δόμηση και για τη διάκριση της περιοχής με κριτήρια γεωλογικής καταλληλότητας: Πρκτ. 5ου Πανελλ. Γεωγραφικού Συνεδρ. Αθήνα.

BIGGS D. DE VILLE, B. AND SUEN E. 1991, A method of choosing multi-way partitions for classification and decision Trees: J. Applied Statistics, v. 18 (1).

BONHAM-CARTER F.G., 1994, Geographic Information Systems For Geoscientists: Modelling with GIS. Pergamon.

ROBINOVE C.J., 1989, Principles of logic and the use of digital Geographic Information Systems: In funtamental of Geogrphic Information Systems: A Compendium, Editor: Ripple, W.J., American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

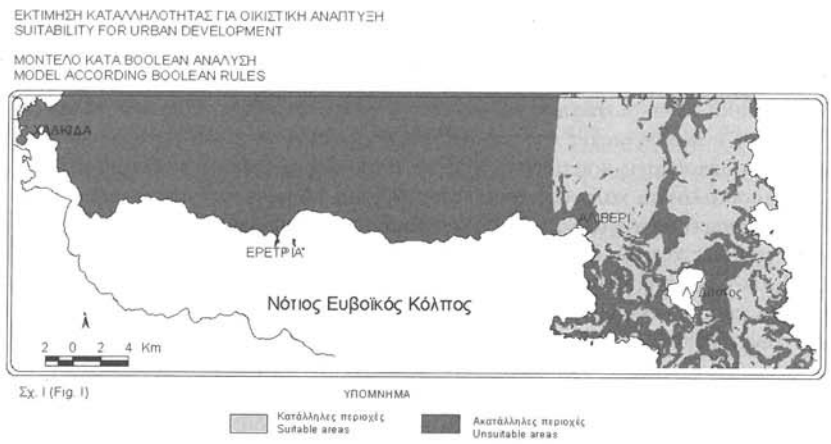
ΙΓΜΕ, Φύλλα γεωλογικών χαρτών:Χαλκίς, Ερέτρια και Αλιβέρι

ΜΕΤΑΞΑΤΟΣ Π., 1999, Υδραυλικές μελέτες της Πολεοδομικής Μελέτης (Β' Κατοικίας) περιοχής Δήμου Αηλαντίου, Ν. Ευβοίας. Αρχείο ΔΟΚΚ/ΥΠΕΧΩΔΕ.

ΜΙΧΑΛΟΠΟΥΛΟΥ Κ., 1999, Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας στα πλαίσια της Πολεοδομικής Μελέτης Β' Κατοικίας Δήμου Βασιλικού Νομού Ευβοίας. Αρχείο ΔΟΚΚ/ΥΠΕΧΩΔΕ.

VARNES D.J., 1974, The logic of maps with reference to their interpretation and use for engineering purposes: United States Geological Survey Professional Paper 837.

ZIMMERMAN H.J., 1985, Fuzzy Sets Theory and Its Applications, Kluwer-NijhoffPublishing, Boston-Dordrcht-Lancaster.



Σχ. I (Fig. I)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΔΥΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.
SUITABILITY USING THE WEIGHTED BINARY MODEL

Σχ. II (Fig. II)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΚΑΚΕΣ Suitability LEAST

Συνθήκες Καταλληλότητας ΜΕΤΡΙΕΣ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΑΡΙΣΤΕΣ Suitability BEST

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΜΕ INDEX OVERLAY ΜΟΝΤΕΛΟ
(Συντελεστές βαρύτητας σε χάρτες με πολλές μεταβλητές)
SUITABILITY USING INDEX OVERLAY MODEL
(Multi-class and weighted maps)

Σχ. III (Fig. III)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΚΑΚΕΣ Suitability LEAST

Συνθήκες Καταλληλότητας ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΑΛΕΣ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΑΡΚΕΤΑ ΚΑΛΕΣ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΑΡΙΣΤΕΣ Suitability MOST

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ FUZZY ΑΝΑΛΥΣΗ (Quantile classification)
SUITABILITY USING FUZZY LOGIC

Σχ. IV (Fig. IV)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΚΑΚΕΣ Suitability LEAST

Συνθήκες Καταλληλότητας ΣΧΕΤΙΚΑ ΚΑΛΕΣ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΑΡΚΕΤΑ ΚΑΛΕΣ

Συνθήκες Καταλληλότητας ΑΡΙΣΤΕΣ Suitability MOST

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1663-1670, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1663-1670, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ – ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ*

Κ. ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ[1], Σ. ΡΑΥΤΟΠΟΥΛΟΣ[1], Χ. ΜΙΝΟΠΕΤΡΟΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Το ΥΗΕ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ κατασκευάζεται στην κοιλάδα του ομώνυμου ποταμού, στο τεκτονικό παράθυρο Χρυσοβίτσας - Περιστερίου. Το σύνολο των εκτεταμένων υπόγειων κατασκευών του Έργου είναι τοποθετημένο στον αυτόχθονο φλύσχη της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης. Ο φλύσχης είναι κατ' εξοχήν πηλιτικός, περιλαμβάνει όμως και εκτεταμένους φακούς χαλαρών άστρωτων κροκαλοπαγών μέσα στα οποία κατασκευάσθηκαν ή πρόκειται να κατασκευασθούν σημαντικά υπόγεια Έργα. Η αστάθεια των πρανών, που συνίσταται κυρίως σε κινητικότητα των υλικών της τεκτονικής ζώνης της βάσης του επωθημένου καλύμματος, η λιθολογία του φλύσχη και η καταπόνηση των σχηματισμών από τα σημαντικά τεκτονικά γεγονότα ήταν τα κύρια προβλήματα που αντιμετώπισε η μελέτη και η κατασκευή.

SUMMARY

Metsovitikos Hydro-electric Project is currently under construction in the homonymous riverbed. It is situated in the Chrysovitsa – Peristeri tectonic window, near the western border of the big overthrust of Pindos zone. It is a small project with 25MW fixed power and 60GWh annual output. However, the underground works go to a significant extent, comprising about 5km of water tunnels, 500m of road tunnels, 120m of surge tank, underground powerhouse and a downstream surge tank chamber. Up to date 4km of water tunnels and 400m of road tunnels have already been constructed, all of them in the autochthonous flysch formation of the inner Ionian zone.

The flysch formation, that has a clayey character, comprises siltstones with thin-bedded sandstones. Interbedded in the lithological sequence are isolated zones of thick-bedded sandstones as well as lenses of massive conglomerates, discordant to the other flysch formation. The siltstones have high content of swelling argillaceous materials (approximately 20%) and very often are highly tectonised. The conglomerates are loosely cemented with a matrix of silty sand and are hardly tectonised.The choice of the position of the underground works was extremely difficult since they had to go as far as possible from the area affected because of Pindos zone overthrust. Significant difficulties were met during the compilation of the longitudinal geological section and generally for the prognosis of the existing geological conditions since the conglomerates and the sandstones are not consistently developed and wedging is appeared towards edgeways.The longitudinal geological section and the geological prognosis of the design were verified to a satisfactory degree. The behaviour of the distinct lithological formations during the excavation process was briefly as follows; Siltstones; Small advance (<1.5m), need for immediate support, combining steel sets and bolts. The behaviour of the formation deteriorates significantly due to humidity and tectonism. Conglomerates; Large advance, ease to implement the design excavation lines, limited and no immediate need for primary support implementation. Sandstones; The orientation of bedding is decisive for the stability. Unfavorable bedding orientation leads to significant overbreak on the roof and assists to the creation of unexpected excavation lines. Favourable bedding orientation results to a behaviour similar to that of the conglomerate formation.[1]

Two important issues came up during the construction:

a. The deformations on the vertical walls of the supported tunnel section which occurred some weeks or even months after the primary support completion. The swelling of the siltly rock mass is probably responsible for these deformations. That situation was confronted with the application of additional bolts.
b. The roof collapsed along a section of 8m length of the access tunnel, which occurred three months after the excavation, in the conglomerate formation, within a zone of highly weathered and tectonised rock. The main

* UNDERGROUND WORKS OF THE METSOVITIKOS HYDROELECTRIC PROJECT – EXPERIENCE FROM DESIGN AND CONSTRUCTION

1. Γεωλόγοι ΔΕΗ (Δ/νση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων / Τομέας Γεωλογίας. Αγησιλάου 56-58 Αθήνα.

causes of that collapse were the hydrostatic loads due to the clogging of the installed drainage pipes as well as the insufficient and poorly constructed support.

1. ΤΟ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΕΡΓΟ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ

Το ΥΗΕ Μετσοβίτικου κατασκευάζεται στον ποταμό Μετσοβίτικο, παραπόταμο του Άραχθου.

Ενεργειακά το Έργο είναι μικρομεσαίο, με εγκατεστημένη ισχύ 25 MW, και προβλεπόμενη ετήσια παραγωγή 60 GWh περίπου. Εκμεταλλεύεται το νερό του Αώου, που με το ΥΗΕ Πηγών Αώου εκτρέπεται στο Μετσοβίτικο, καθώς και μέρος του νερού του Μετσοβίτικου - μέχρι 10 m^3 / sec – που δεσμεύεται με ειδική υδροληψία, απαλλαγμένο από χονδρόκοκκα φερτά υλικά.

Από άποψη υπόγειων κατασκευών, το έργο είναι μεγάλο αφού περιλαμβάνει:

Σήραγγα Προσαγωγής, μήκους 4000 m. - Σήραγγα Φυγής μήκους 700 m. - Σήραγγα Προσπέλασης μήκους 300 m. - Βοηθητικές Σήραγγες μήκους 250 m, - Υπόγειο Σταθμό Παραγωγής όγκου περίπου 20.000 m^3 - Φρέαρ Ανάπαλσης διαμέτρου εκσκαφής 13,2 m, και βάθους 120 m. και Θάλαμο Κατάντη Ανάπαλσης όγκου 4.000 m^3 περίπου.

Το φράγμα έχει ύψος 15 και μήκος 900 m περίπου και δημιουργεί ένα μικρό ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας 200 χιλ. m^3. Ο ρόλος αυτού του ταμιευτήρα είναι να αναρυθμίζει τις εκμεταλλευόμενες παροχές του Μετσοβίτικου, για λίγες μόνο ώρες και να διευκολύνει την υδροληψία.

Από τα έργα αυτά έχουν ήδη κατασκευασθεί η Σήραγγα Προσαγωγής, η Σήραγγα Προσπέλασης και μία Βοηθητική Σήραγγα μήκους 150 m. Το υπόλοιπο Έργο είναι υπό δημοπράτηση.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η περιοχή του Έργου βρίσκεται στο τεκτονικό παράθυρο Χρυσοβίτσας- Περιστερίου. Στο παράθυρο αυτό αποκαλύπτεται ο αυτόχθονος φλύσχης της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης κάτω από το επωθημένο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. Το παράθυρο είναι ευρύ και ανοικτό προς την πλευρά του Αράχθου. Στην πραγματικότητα πρόκειται για βαθιά ανατολική εγκόλπωση του μετώπου επώθησης στην κοιλάδα του Μετσοβίτικου, που φθάνει μέχρι το μέσο ρου του ποταμού, στο ύψος περίπου του χωριού Βοτονόσι.

2.1. Λιθοστρωματογραφία

Ο Φλύσχης της ευρύτερης περιοχής του έργου ανήκει στα στρώματα Ζαγορίου, που είναι ο ανώτερος ορίζοντας του Φλύσχη του συγκλίνου Ακαρνανίας - Ηπείρου στην περιοχή(IGPS-IEP 1966). Η ηλικία του είναι Ολιγοκαινική.

Στη συγκεκριμένη θέση του Έργου ο Φλύσχης είναι κατεξοχήν πηλητικός, αποτελούμενος από τεφρούς μεσοστρωματώδεις ιλυόλιθους, με αραιές λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικές ενστρώσεις. Σποραδικά στη λιθολογική σειρά παρεμβάλλονται μεμονωμένες ζώνες χονδρόκοκκων παχυστρωματωδών ψαμμιτών και μεμονωμένοι πάγκοι χαλαρών στρωμένων κροκαλοπαγών. Σποραδικά επίσης η συνέχεια των στρωμάτων διακόπτεται από ακανόνιστα σώματα άστρωτων κροκαλοπαγών, που έχουν φακοειδή ανάπτυξη και παρεμβάλλονται ασυνεχώς στη λιθολογική σειρά. Οι διαστάσεις αυτών των φακών κυμαίνονται από λίγα μέχρι και εκατοντάδες μέτρα.

Τα χαρακτηριστικά των λιθολογικών σχηματισμών που συνιστούν το φλύσχη συνοψίζονται στα ακόλουθα :

Ιλυόλιθοι: Είναι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις και έχουν σκούρο τεφρό χρώμα. Στη σειρά των ιλυολιθικών στρωμάτων παρεμβάλλονται σποραδικά λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις. Τοπικά σε περιορισμένου πάχους ζώνες, παρατηρείται πύκνωση των ψαμμιτικών ενστρώσεων.

Η ορυκτολογική τους σύσταση, που διερευνήθηκε στη φάση της μελέτης του έργου από τον καθηγητή Ε. Μπόσκο - Ε.Μ.Π.- σε δώδεκα δείγματα που λήφθηκαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις , είναι: Χαλαζίας 30-36%,Άστριοι 6-12%, Δολομίτης 11-17%, Αργιλικά ορυκτά 43-50%. Από τα αργιλικά ορυκτά το μισό ποσοστό περίπου είναι διογκούμενα (Σμεκτίτης, ορυκτά μικτής δομής Σμεκτίτη - Χλωρίτη).

Η υδατοπερατότητα τόσο του άρρηκτου πετρώματος όσο και της βραχομάζας είναι πολύ μικρή. Ο σχηματισμός είναι πρακτικά στεγανός. Η βραχομάζα, κάτω από την επιφανειακή ζώνη χαλάρωσης είναι κορεσμένη (DOYVEAS,1990) το νερό όμως των λεπτότατων πόρων είναι, σχεδόν στο σύνολό του, δεσμευμένο με μοριακές δυνάμεις. Οι ελάχιστες κατεισδύσεις γίνονται μέσα από τις ασυνέχειες που είναι επίσης κλειστές σχεδόν στο σύνολό τους.

Στις ατμοσφαιρικές συνθήκες οι ιλυόλιθοι αποσαθρώνονται εξαιρετικά γρήγορα. Η αποσάθρωση είναι φυσική και προκαλεί γρήγορα εξελισσόμενο θρυμματισμό που θα πρέπει να αποδοθεί σε συρρίκνωση, λόγω απώλειας νερού, των διογκούμενων αργιλικών ορυκτών. Η αποσάθρωση αυτή είναι επιφανειακή και περιορί-

ζεται σε λεπτή ζώνη, πάχους <1m. Η χημική αποσάθρωση της ιλυολιθικής βραχομάζας περιορίζεται και αυτή στην επιφανειακή χαλαρωμένη ζώνη του πετρώματος όπου φθάνουν οι κατεισδύσεις του επιφανειακού νερού.

Ψαμμίτες: Είναι σκούροι τεφροί έως τεφροπράσινοι μεσόκοκκοι έως χονδρόκοκκοι, ψαθυροί και ιλυούχοι. Το ποσοστό του κλάσματος ιλύος μεταβάλλεται έντονα, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύεται συνήθως όλο το φάσμα των λιθολογικών τύπων, από τους ιλυούχους ψαμμίτες μέχρι τους αμμούχους ιλυόλιθους. Αναπτύσσονται σε στρώματα και πάγκους πάχους μέχρι 2 m. Στη λιθολογική σειρά οι ψαμμίτες σχηματίζουν χαρακτηριστικές ζώνες πάχους από λίγα έως μερικές δεκάδες μέτρα, με ιδιαίτερη γεωμορφολογική σημασία. Στις ψαμμιτικές αυτές ζώνες συχνά συμμετέχουν και μεμονωμένα στρώματα χαλαρών έως μέσης σκληρότητας κροκαλοπαγών.

Τα μεμονωμένα στρώματα και σε μικρότερο βαθμό και ολόκληρες οι ψαμμιτικές ζώνες παρουσιάζουν ασταθή οριζόντια ανάπτυξη με έντονες μεταβολές του πάχους τους και απότομες πλευρικές αποσφηνώσεις.

Οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συχνά ανοικτές και δημιουργούν ένα σημαντικό δευτερογενές πορώδες μέσα στο οποίο κυκλοφορεί και αποθηκεύεται υπόγειο νερό. Η διαπερατότητα του άρρηκτου πετρώματος είναι περιορισμένη.

Αποσαθρώνονται σφαιρικά και σχηματίζουν χαρακτηριστικούς επάλληλους συγκεντρικούς φλοιούς. Το βάθος της γενικής αποσάθρωσης είναι πολύ περιορισμένο, 1-2m. Βαθύτερα η αποσάθρωση περιορίζεται σε μικρού πάχους ζώνες, κατά μήκος των ανοικτών ασυνεχειών.

Κροκαλοπαγή: Τα κροκαλοπαγή είναι πολύμικτα με κροκάλες ασβεστολιθικές, οφιολιθικές, κερατολιθικές και ψαμμιτικές που προέρχονται κυρίως από πετρώματα της ζώνης της Πίνδου. Το μέγεθός των κροκαλών ποικίλει από ο,5 έως 10 εκ. και σε μεμονωμένες περιπτώσεις μέχρι 20 εκ. Είναι συνήθως μέτρια έως καλά στρογγυλεμένες. Το συνδετικό τους υλικό είναι αμμοιλυώδες και μόνο τοπικά ανθρακικό. Σε κάποιες περιπτώσεις η βασική μάζα είναι διατμημένος και αναζυμωμένος ιλυόλιθος μέσα στον οποίο περικλείονται οι κροκάλες. Ανάλογα με το είδος του συνδετικού υλικού τα κροκαλοπαγή είναι χαλαρά έως μέσης σκληρότητας.

Η μάζα τους είναι συνήθως χαοτική χωρίς στρώση. Αναπτύσσονται φακοειδώς σε ακανόνιστους όγκους συχνά μεγάλων διαστάσεων - εκατοντάδων μέτρων - που παρεμβάλλονται ασυνεχώς, διακόπτοντας τη συνέχεια των στρωμάτων του υπόλοιπου φλύσχη. Ο σχηματισμός τους οφείλεται σε συνιζηματογενείς υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και ερπυσμούς στις παρυφές της αναδυόμενης Πίνδου. Με τις ολισθήσεις αυτές μετατοπίσθηκαν χονδρόκοκκα υλικά της ανατολικής παράκτιας ζώνης της Ιόνιας λεκάνης, σε βαθύτερες νηριτικές περιοχές, όπου συντελούνταν η απόθεση του Ιόνιου Φλύσχη. Πρόκειται δηλαδή για «ολισθοστρώματα»(RICHTER,1973).

Η υδατοπερατότητα του άρρηκτου πετρώματος είναι μικρή. Οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συνήθως ανοικτές και συχνά διευρυμένες. Μέσα από τις ασυνέχειες αυτές το επιφανειακό νερό κατεισδύει, κυκλοφορεί και αποθηκεύεται στη βραχομάζα. Επειδή όμως οι ασυνέχειες είναι πολύ αραιές και συνήθως δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, η υπόγεια υδροφορία είναι γενικά περιορισμένη.

Το βάθος της αποσάθρωσης δεν ξεπερνά τα 2-3 m.. Κατά μήκος όμως των ανοικτών ασυνεχειών η αποσάθρωση προχωρά σε σημαντικά βάθη, δημιουργώντας ζώνες αποσάθρωσης πλάτους μέχρι 1m.

2.2. Τεκτονική

Το κυρίαρχο τεκτονικό γεγονός της ευρύτερης περιοχής του Έργου είναι η επώθηση, με την οποία μετακινήθηκε το τεράστιο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου και τοποθετήθηκε πάνω στους αυτόχθονες σχηματισμούς των δυτικότερων ζωνών, Γαβρόβου και Ιονίου. Η επώθηση είναι δημιούργημα διαδοχικών συμπιεστικών γεγονότων του τριτογενούς, Ηώκαινο – Πλειόκαινο (ΖΟΥΡΟΣ, 1993).

Η μεγάλη επωθητική κίνηση δημιούργησε, στη βάση του καλύμματος, μια πλατιά τεκτονική ζώνη η οποία απορρόφησε το μέγιστο μέρος των παραμορφώσεων. Αποτελείται από χαοτική διατμημένη πηλιτική μάζα, μέσα στην οποία περικλείονται κομμάτια και ογκόλιθοι ασβεστολίθων και ψαμμιτών. Τα υλικά της προέρχονται τόσο από το αυτόχθονο όσο και το επωθημένο σύστημα.

Η καταπόνηση του αυτόχθονου Φλύσχη, τόσο από την επώθηση όσο και την πτύχωση και ανάδυση της περιοχής είναι άνισα κατανεμημένη στις επιμέρους λιθολογικές ζώνες. Στα κροκαλοπαγή, που είναι ο πιο ανθεκτικός και άκαμπτος σχηματισμός της σειράς ο τεκτονισμός είναι ασθενής. Εκδηλώνεται με ένα αραιό σύστημα διακλάσεων με ατελή μεταξύ τους επικοινωνία και συνήθως ανοικτούς αρμούς. Στους ψαμμίτες ο τεκτονισμός είναι επίσης ασθενής, σαφώς όμως πιο έντονος από ότι στα κροκαλοπαγή. Οι τεκτονικές ασυνέχειες είναι ανοικτές, ανήκουν σε περισσότερα του ενός συστήματα και επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι ιλυόλιθοι που είναι το πιο ασθενές και πλαστικό μέρος της λιθολογικής σειράς, είναι έντονα τεκτονικά καταπονημένοι,

ιδιαίτερα κοντά στην επαφή τους με τις άκαμπτες μάζες των κροκαλοπαγών, όπου συνήθως είναι έντονα κερματισμένοι διατμημένοι και χαοτικοί. Στις άλλες περιοχές ο τεκτονισμός εκδηλώνεται με πυκνές και πλατιές ζώνες διάτμησης και συχνά έντονη πτύχωση. Οι τεκτονικές ασυνέχειες στους ιλυόλιθους είναι, σχεδόν στο σύνολό τους, κλειστές ή γεμάτες με ασβεστίτη.

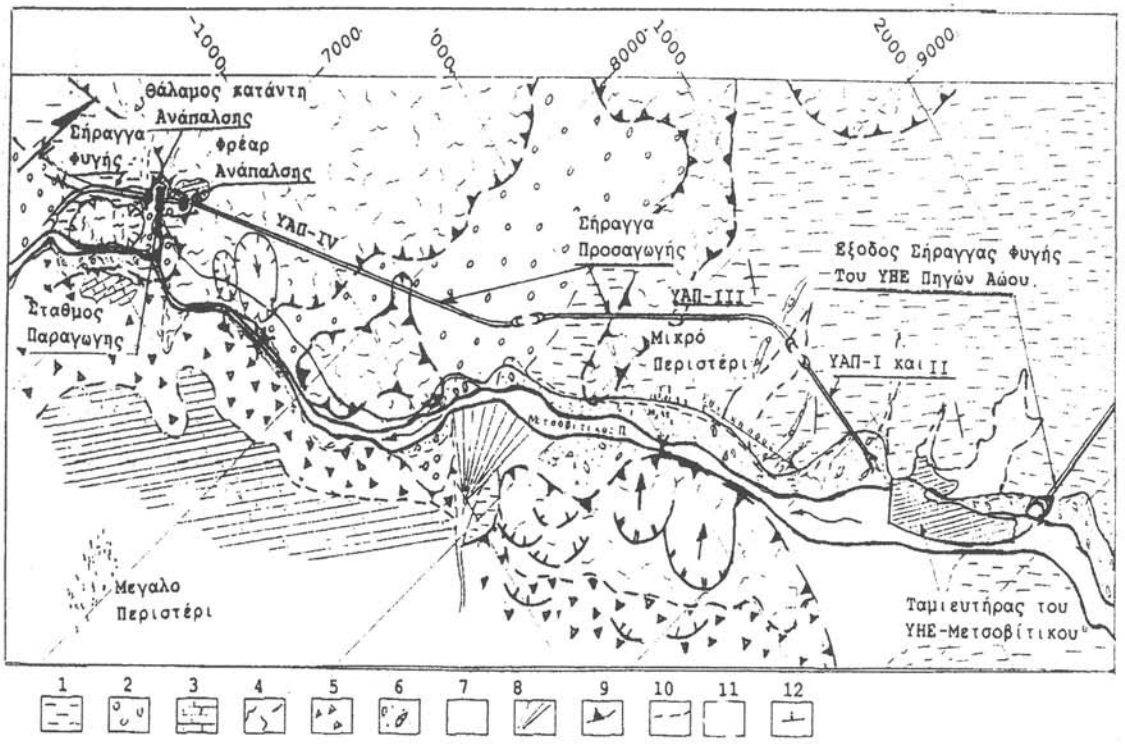
Άλλο σημαντικό τεκτονικό στοιχείο της περιοχής είναι η μεγάλη ρηξιγενής ζώνη του Μετσοβίτικου. Πρόκειται για δέσμη παράλληλων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση Α-Δ, την οποία γενικά ακολουθεί και η κοίτη του ποταμού (ΖΟΥΡΟΣ,1993). Στην περιοχή ενδιαφέροντος τα ρήγματα της ζώνης είναι από την αριστερή (νότια) πλευρά του ποταμού και δημιουργούν το απότομο ανάγλυφο των ασβεστολίθων. Στη βάση των ρηξιγενών πρανών σχηματίσθηκε παχύς μανδύας ασβεστολιθικών κορημάτων και καταπτώσεων. Ο μανδύας, τοποθετημένος πάνω στα κεκλιμένα πηλιτικά πρανή του αυτόχθονου φλύσχη και της τεκτονικής ζώνης του καλύμματος, βρίσκεται σήμερα σε εμφανώς ασταθή ισορροπία (Σχ.1).

3. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

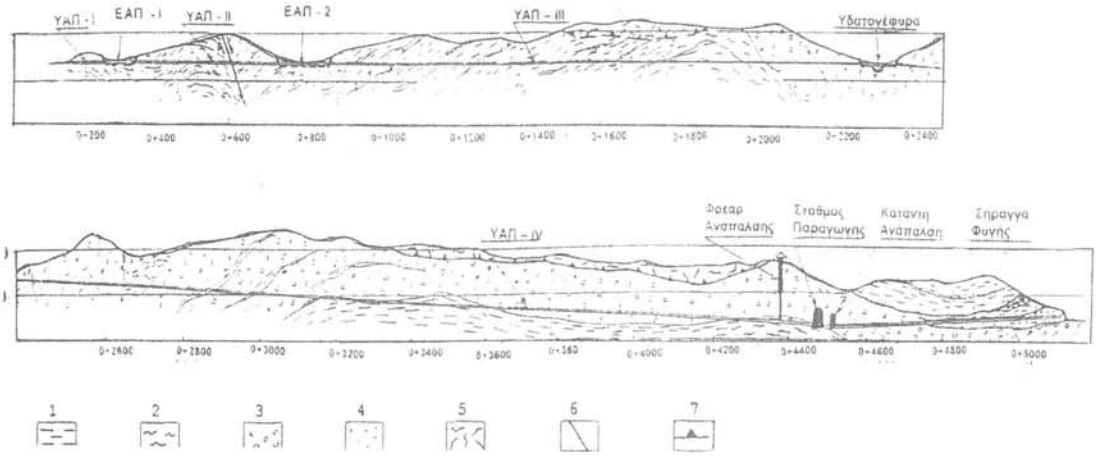
Ιλυόλιθοι: Τα αρνητικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ιλυολιθικής βραχομάζας είναι η υψηλή περιεκτικότητα διογκούμενων αργιλικών ορυκτών και η έντονη τεκτονική καταπόνηση της βραχομάζας.

Φαινόμενα όπως ο γρήγορος θρυμματισμός του πετρώματος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, καθώς και η διόγκωση και ο θρυμματισμός των πυρήνων των γεωτρήσεων που παρατηρούνται στους ιλυόλιθους, οφείλονται, κατά την άποψή μας, στην ύπαρξη των διογκούμενων ορυκτών.

Όπου ο τεκτονισμός των ιλυολίθων είναι έντονος, συνοδεύεται συνήθως και με διάτμηση. Η βραχομάζα εμφανίζεται κατακερματισμένη σε μικρά φυλλώδη κομμάτια (2-10 εκ.), με λείες διατμητικές περιβάλλουσες επιφάνειες. Αυτές οι παράλληλες διατμητικές μικροεπιφάνειες δίνουν στη βραχομάζα μια άτυπη σχιστότητα και ανισοτροπία αναφορικά με βασικές γεωμηχανικές παραμέτρους της(γωνία φ, αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κ.λ.π.). Ο σχετικός προσανατολισμός επομένως της «σχιστότητας», αναφορικά με τους επιμήκεις άξονες των υπόγειων κατασκευών και τη φορά προχώρησης της εκσκαφής, επηρεάζει αποφασιστικά την ευστάθεια, την έκταση της απαιτούμενης υποστήριξης και τη μέθοδο διάνοιξης.



Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Έργου Geological map of the project area



Σχ.2. Γεωλογική τομή κατά μήκος του Αγωγού Προσαγωγής Geological map along Power Tunnel

Η διατμημένη ιλυολιθική βραχομάζα έχει πολύ μικρές αντοχές σε ανεμπόδιστη θλίψη, σχεδόν μηδενικό RQD και πολύ χαμηλές τιμές στη βαθμονόμησή της, στα γνωστά εμπειρικά συστήματα κατάταξης. Στην κατάταξη κατά Bieniawski για παράδειγμα οι τιμές RMR είναι σαφώς μικρότερες του 20.

Η ατεκτόνιστη ιλυολιθική βραχομάζα αντίθετα έχει τιμές RQD 60-90%, έντονα κυμαινόμενες τιμές ανεμπόδιστης θλίψης, από 5-40 Mpa, και τιμές RMR που φθάνουν ή και ξεπερνούν το 80. Η πραγματική συμπεριφορά όμως αυτής της βραχομάζας, στις υπόγειες εκσκαφές, είναι σαφώς κατώτερη της αναμενόμενης για βραχομάζα με τόσο υψηλό RMR. Στο θέμα θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο.

Θετικά από τεχνικογεωλογική άποψη χαρακτηριστικά της ιλυολιθικής βραχομάζας είναι, η έλλειψη αποσάθρωσης και η εξαιρετικά ασθενής υπόγεια υδροφορία, που περιορίζεται σε τοπική υγρασία σποραδικά.

Ψαμμίτες: Τα θετικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της ψαμμιτικής βραχομάζας είναι ο ασθενής τεκτονισμός - μέσες τιμές RQD>70% - η γενικά χαμηλή αποσάθρωση, οι μέσες έως υψηλές τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη 20-60 Mpa.

Αρνητικά χαρακτηριστικά είναι : Οι συχνά ανοικτές τεκτονικές ασυνέχειες. Οι αργιλικές ενστρώσεις που συχνά παρεμβάλλονται μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων και μειώνουν δραστικά τις διατμητικές αντοχές της βραχομάζας, κατά μήκος των επιφανειών στρώσης, και η υπόγεια υδροφορία που τοπικά μπορεί να είναι σημαντική.

Ο προσανατολισμός των επιφανειών στρώσης, σε σχέση με τους άξονες των υπόγειων κατασκευών, είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρρεάζει την ευστάθεια, την έκταση της απαιτούμενης υποστήριξης και το βήμα προχώρησης της εκσκαφής.

Οι τεκτονικές ασυνέχειες, ακόμη και στην περίπτωση που είναι ανοικτές, είναι λιγότερο επικίνδυνες από τη στρώση, διότι είναι λιγότερο επίπεδες, λιγότερο "ολισθηρές" και ασυνεχείς.

Η υπόγεια υδροφορία μπορεί να είναι έντονη, επειδή όμως οι ψαμμμιτικές ζώνες είναι γενικά περιορισμένων διαστάσεων και περικλείονται σε στεγανούς ιλυόλιθους, η αποθηκευτική τους ικανότητα και τροφοδοσία είναι περιορισμένη.

Η βαθμονόμηση της βραχομάζας στην κατάταξη κατά Bieniawski δίνει τιμές μέσες έως υψηλές 50-75, δηλαδή κατηγορίες βραχομάζας III-II και με ευνοϊκή διάταξη της στρώσης κατηγορία I.

Κροκαλοπαγή: Οι αντοχές σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι γενικά χαμηλές, 8- 20 Mpa και μόνο τοπικά οι τιμές αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Αυτό οφείλεται στη χαλαρή συγκόλληση με το ιλυοαμμώδες συνδετικό υλικό.

Τα θετικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας είναι: Ο ασθενής τεκτονισμός (RQD>80). Οι διακλάσεις είναι μεμονωμένες και αραιές και μόνο στην περίπτωση που έχουν δυσμενή προσανατολισμό, για το υπόγειο έργο, μπορούν να επηρεάσουν ουσιαστικά την ευστάθεια. Η έλλειψη ιζηματογενών ασυνεχειών (στρώση) είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό στοιχείο της βραχομάζας, που επηρεάζει ουσιαστικά την ευστάθεια, την απαιτούμενη υποστήριξη και τη μέθοδο εκσκαφής.

Η υπόγεια υδροφορία και υδραυλική αφορά κυρίως νερό που κινείται και αποθηκεύεται στις ανοικτές διακλάσεις. Οι διακλάσεις αυτές είναι απομονωμένες ή επικοινωνούν μεταξύ τους ατελώς, έτσι η αποθηκευτικότητά τους και η τροφοδοσία είναι εξαιρετικά περιορισμένες . Δεν αναπτύσσεται τυπικός ενιαίος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στη βραχομάζα. Όταν η υπόγεια εκσκαφή συναντήσει κάποια υδροφορούσα ασυνέχεια, οι εισροές μπορεί να είναι αρχικά σημαντικές, η εξέλιξή τους όμως είναι φθίνουσα και η εξάντλησή τους υπόθεση κάποιων ωρών ή ελάχιστων ημερών.

Συχνά το νερό των απομονωμένων διακλάσεων έχει αυξημένα οργανικά φορτία και ενδείξεις αναερόβιας αποσύνθεσης (υδρόθειο).

Η αποσάθρωση είναι γενικά ασθενής και κάτω από την επιφανειακή ζώνη περιορίζεται μόνο σε λεπτές ζώνες κατά μήκος των ανοικτών διακλάσεων.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

4.1.Προβλήματα της μελέτης

Στην προκαταρκτική μελέτη του έργου ο Αγωγός Προσαγωγής είχε σχεδιασθεί σαν ανοικτή διώρυγα, κατά μήκος της καμπύλης 643m (ΔΕΗ/ΔΑΥΕ,1984). Για το σχεδιασμό αυτό διατυπώθηκαν σοβαρές γεωλογικές ενστάσεις, που αφορούσαν την έντονη, εκδηλωμένη αστάθεια, μεγάλων τμημάτων του πρανούς, στη ζώνη διέλευσης του αγωγού.

Η αστάθεια συνίσταται σε ολισθήσεις μαζών της τεκτονικής ζώνης του καλύμματος, πάνω στον υποκείμενο αυτόχθονο φλύσχη. Εκδηλώνεται με μεγάλες ενεργές κατολισθήσεις, στα χαμηλά του πρανούς και αργούς ερπυσμούς σε ευρύτερες περιοχές του, περίπου μέχρι το υψόμετρο 700m. Το βάθος των ασταθειών είναι μεγάλο, συνήθως αφορά το συνολικό πάχος της χαοτικής τεκτονικής ζώνης που στην περιοχή κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30m .

Με αυτά τα δεδομένα ο αρχικός σχεδιασμός απορρίφθηκε. Για ανάλογους λόγους απορρίφθηκε και η εναλλακτική πρόταση διώρυγας στο αριστερό πρανές του ποταμού, όπου ο παχύς μανδύας ασβεστολιθικών κορημάτων βρίσκεται σε εμφανώς ασταθή ισορροπία πάνω στο κεκλιμένο πηλιτικό υπόβαθρο. Η λύση υπόγειου αγωγού προσαγωγής απέμενε ουσιαστικά η μοναδική, γεωλογικά αποδεκτή, επιλογή.

Στην τελική λύση που επιλέχθηκε, το συγκρότημα παραγωγής, ο αγωγός προσαγωγής και ο αγωγός φυγής είναι στο σύνολό τους υπόγεια. Η διάταξή τους δείχνεται στα σχ.1 και 2 (Κ.Καραπαντελακης, 1993)

Τα κύρια γεωλογικά προβλήματα που αντιμετώπισε η μελέτη αυτών των υπόγειων έργων ήταν :

α. Η χάραξη των σηράγγων και η επιλογή της θέσης των υπόλοιπων υπόγειων έργων, στο πολύπλοκο γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής.

Η επιλογή αυτή θα έπρεπε να πάρει υπόψη της την επιφάνεια επώθησης, ιδιαίτερα όπου οι σήραγγες περνούσαν κάτω από αυτή. Τα υπόγεια έργα θα έπρεπε να τοποθετηθούν κατά το δυνατό έξω από τις ζώνες επιρροής της επώθησης. Επίσης θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη οι αστάθειες των πρανών τόσο οι εκδηλωμένες όσο και οι δυνητικές. Οι θέσεις των υπόγειων έργων θα έπρεπε οπωσδήποτε να είναι κάτω από τις αστάθειες και σε απόσταση ασφαλείας από αυτές. Στην επιλογή του βάθους των Έργων ήταν δεσμευτικό το υψόμετρο των στροβίλων του Σταθμού Παραγωγής 638 m. που ήταν δεδομένο (Σχ.2).

Η επιλογή της θέσης των υπόγειων Έργων στηρίχθηκε στο τρίτο γεωερευνητικό πρόγραμμα, που για την περιοχή του προβληματικού τμήματος (ΥΑΠ-IV) περιελάμβανε πυκνό δίκτυο γεωτρήσεων (ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ Κ.,1991).

β. Η ασταθής οριζόντια ανάπτυξη βασικών λιθολογικών σχηματισμών του φλύσχη (ψαμμίτες κροκαλοπαγή), δημιούργησαν σοβαρές δυσκολίες και αβεβαιότητες στη σύνταξη των γεωλογικών τομών στους άξονες των Έργων Σχ.2. Οι τομές αυτές γενικά είναι εξαιρετικά σημαντικές, επειδή σε αυτές κυρίως βασίζεται η πρόγνωση των αναμενόμενων γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών και κατ' επέκταση η προμέτρηση και ο προϋπολογισμός του Έργου.

Το πρόβλημα αφορούσε κυρίως τον ΥΑΠ-IV όπου επικρατούσαν σχεδόν αποκλειστικά τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες. Η σημασία του προβλήματος όμως, ειδικά για τη σήραγγα αυτή, μειώνεται από το γεγονός ότι οι δύο λιθολογικοί σχηματισμοί έχουν ανάλογη συμπεριφορά στις υπόγειες εκσκαφές. Έτσι ενδεχόμενη αστοχία στη γεωλογική μηκοτομή δεν θα είχε ουσιαστικές συμβατικές και οικονομικές επιπτώσεις.

γ. Οι χειρότερες γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες αναμενόταν στον ΥΑΠ-III, όπου η δυσμενής λιθολογία (ιλυόλιθοι) συνδυάζονται με έντονο τεκτονισμό και προδιάτμηση. Ιδιαίτερα κοντά στην επαφή των ιλυολίθων με τα κροκαλοπαγή, όπου η δυσμενής λιθολογία και ο τεκτονισμός προβλεπόταν να συνδυάζεται και με υγρασία, αναμενόταν σημαντικές δυσκολίες στη διάνοιξη.

Η συμβατική ταξινόμηση της βραχομάζας δεν ακολούθησε κανένα από τα γνωστά συστήματα ταξινόμησης. Η ταξινόμηση στηρίχθηκε στην άμεση εμπειρία που αποκτήθηκε από τη διάνοιξη της Σήραγγας Φυγής του παρακείμενου ΥΗΕ Πηγών Αώου, στους ίδιους λιθολογικούς σχηματισμούς του Ιόνιου Φλύσχη.

Τα κριτήρια με τα οποία έγινε η ταξινόμηση ήταν το μέγιστο δυνατό βήμα προχώρησης, το είδος, και η ποσότητα των απαιτούμενων μέτρων υποστήριξης καθώς και ο χρόνος τοποθέτησης τους. Τα κριτήρια αυτά είναι και οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν το κόστος της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό επιδιώχθηκε να διαμορφωθεί δίκαιο σύστημα πληρωμής και επομένως προϋποθέσεις ομαλής εξέλιξης της εργολαβίας κατασκευής του έργου.

4.2. Εμπειρίες και προβλήματα της κατασκευής

Η πρώτη σύμβαση κατασκευής του Έργου, περιέλαβε την εκσκαφή των σηράγγων Προσαγωγής (4.000 m.), Προσπέλασης (300 m.) και μιας βοηθητικής (150 μ.). Η σύμβαση ολοκληρώθηκε μέσα στα συμβατικά οικονομικά και χρονικά πλαίσια γεγονός που από μόνο του αποδεικνύει γενικά και την ευστοχία της μελέτης και την επάρκεια της κατασκευής.

Η γεωλογική μηκοτομή της μελέτης κατά μήκος των αξόνων αυτών των σηράγγων, επιβεβαιώθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό.

Οι εμπειρίες από την συμπεριφορά των επιμέρους λιθολογικών σχηματισμών στις υπόγειες εκσκαφές συνοψίζεται στα ακόλουθα :

Ιλυόλιθοι: Μικρό βήμα προχώρησης (0,80-1,50 m.) ανάλογα με το βαθμό τεκτονισμού και την παρουσία ή όχι υγρασίας. Για διατομές <30 m^2, είναι προτιμότερο η διάνοιξη να γίνεται σε μία φάση με περιορισμό, αν απαιτείται, του μήκους βήματος. Η ανάγκη υποστήριξης είναι άμεση. Η τοποθέτηση όλων των μέτρων πρέπει να ολοκληρώνεται πριν την πραγματοποίηση του επόμενου βήματος. Στους πολύ τεκτονισμένους ιλυόλιθους η αγκύρωση προπορείας του θόλου βοηθάει αισθητά την προχώρηση. Σε συνδυασμό έντονου τεκτονισμού με υγρασία, είναι αναγκαία και η υποστήριξη του δαπέδου με την κατασκευή ανάστροφου τόξου.

Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης: χαλύβδινα πλαίσια, σε συνδυασμό με παθητικά αγκύρια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Στα ιλυολιθικά τμήματα των σηράγγων παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις και αυξημένη φόρτιση των μέτρων υποστήριξης κυρίως στους πλευρικούς τοίχους με υστέρηση εβδομάδων ή και μηνών μετά την εκσκαφή.

Το φαινόμενο δεν περιορίζεται μόνο στους έντονα τεκτονισμένους ιλυόλιθους αλλά επεκτείνεται και στο λιγότερο καταπονημένο πέτρωμα. Δείχνει ότι η οριζόντια συνιστώσα στις ανακατανεμημένες τάσεις γύρω από τη σήραγγα είναι αυξημένη, γεγονός που ενδεχόμενα συνδέεται και με την παρουσία των διογκούμενων αργιλικών ορυκτών.

Ψαμμίτες: Ο ρόλος του προσανατολισμού της στρώσης, σε σχέση με το υπόγειο άνοιγμα, είναι καθοριστικός για την συμπεριφορά τους. Με ευνοϊκό προσανατολισμό της στρώσης, το μήκος βήματος προχώρησης μπορεί να είναι μεγάλο (>2,5 m.) και η απαιτούμενη υποστήριξη περιορισμένη και όχι άμεση. Με δυσμενή προσανατολισμό της στρώσης ιδιαίτερα με παραοριζόντια θέση των στρωμάτων (κλίση <20°), υπάρχουν έντονα προβλήματα υπερεκσκαφών στο θόλο και αδυναμία ελέγχου της διατομής εκσκαφής. Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης το Gunite και τα ενεργητικά αγκύρια (διαστελλόμενης κεφαλής).

Κροκαλοπαγή: Παρά τις σχετικά χαμηλές γενικά μηχανικές αντοχές, η συμπεριφορά τους, στις υπόγειες εκσκαφές, είναι πολύ καλή. Η συμπεριφορά αυτή χαρακτηρίζεται από ευκολία τήρησης των θεωρητικών γραμμών της διατομής εκσκαφής, έλλειψη υπερεκσκαφών που αλλοιώνουν τη γεωμετρία της διατομής, μεγάλο βήμα προχώρησης, που υπόκειται μόνο σε κατασκευαστικούς περιορισμούς. Περιορισμένη γενικά και όχι άμεση ανάγκη υποστήριξης. Κατάλληλα μέτρα υποστήριξης είναι εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ενεργητικά αγκύρια (διαστελόμενης κεφαλής), που θα πρέπει όμως να πακτώνονται, μετά την τάνυσή τους, ώστε να προστατεύονται από μακροπρόθεσμη αστοχία.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπισε η διάνοιξη των σηράγγων στα κροκαλοπαγή, ήταν η κατάρρευση της οροφής, σε ένα τμήμα μήκους 8 m. της Σήραγγας Προσπέλασης. Η κατάρρευση έγινε σε μια κατακόρυφη ζώνη διάρρηξης και έντονης αποσάθρωσης, πλάτους 3-5 μ που τέμνει κάθετα τον άξονα της σήραγγας. Η ζώνη, που είναι παράλληλη προς το απότομο και υψηλό φυσικό πρανές και απέχει από αυτό 30-50 m, είναι χαλαρωμένη λόγω βαρύτητας. Οι αυξημένες κατεισδύσεις στη χαλαρωμένη αυτή ζώνη, προκάλεσαν έντονη αποσάθρωση που εγγίζει τα όρια της πλήρους εξαλλοίωσης.Τα χαλαρωμένα υλικά της ζώνης ήταν κορεσμένα, με υψηλή υπόγεια στάθμη.

Κατά την εκσκαφή η ζώνη έδωσε σημαντικές εισροές, που μειώθηκαν όμως σταδιακά μέχρις εξάντλησης. Η υποστήριξη έγινε με χαλύβδινα πλαίσια ΗΕΒ-140,εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και πυκνό δίκτυο αποστραγγι-

στικών οπών.

Η κατάρρευση, τρεις μήνες μετά τη διάνοιξη και την τοποθέτηση των μέτρων υποστήριξης, έγινε υγρή περίοδο και οφείλεται κυρίως στην έμφραξη των αποστραγγιστικών οπών και την κακότεχνη τοποθέτηση των πλαισίων που παραμορφώθηκαν και αστόχησαν κάτω από τα πρόσθετα υδροστατικά φορτία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

DOUVEAS, N.(1990) «Verwitterungstiefe und Untergrundabdichtung beim Talsperrenbau in dem verkarsteten Nord-Pindos Flysch», *Reihe Nr8, Universität. Tübingen* P.165,

ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, 1984 ΥΗΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ «Προκαταρκτική μελέτη». *ΔΑΥΕ* ΔΕΗ/ΔΑΥΕ, *Τομέας Υδροδυναμικού και Γενικών Σχεδίων Αξιοποίησης*

ΖΟΥΡΟΣ,Ν.(1993) «Μελέτη των τεκτονικών φαινομένων της επώθησης του καλύμματος της ζώνης Πίνδου στο χώρο της Ηπείρου»,διδ. διατρ., Α.Π.Θεσ/κης

IGPS - IEP (1966) «Etute Geologique de l'Epire., *Ed. Technip, Paris,* p.306

ΚΑΡΑΡΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ.(1991) ΥΗΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ: Έκθεση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του τρίτου γεωερευνητικού προγράμματος. *ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ*

ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ. (1993) ΥΗΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ: Γεωλογική Έκθεση του Έργου. *ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ*

ΚΑΡΑΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ,Κ. (2000) ΥΗΕ-ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ: Συμπληρωματική Γεωλογική Έκθεση του Έργου. *ΔΕΗ/ΔΑΥΕ/ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ*

RICHTER, D (1973) «Olisthostrom Olistholith Olisthotrhymma und Olisthoplak Als Merkmale von Gleitungs- und Resedimentalionsvorgangen infolge Synsedimentarer tecton. Bewegungen in Geosynklinalbereichen. *N.jb.Geol.Palaont, Abh.143/3,* P.304-344, Stuttgart.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1671-1677, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1671-1677, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΏΣΕΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ*

Β.Α. ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ[1], Σ.Κ. ΣΤΕΙΡΟΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Η εκδήλωση παραμορφώσεων στο εσωτερικό σηράγγων είναι πρωτεύων παράγοντας στο σχεδιασμό του έργου και η καταγραφή τους συνδέεται άμεσα με την ασφάλεια και λειτουργικότητα της κατασκευής. Στο παρελθόν, η μέθοδος που χρησιμοποιούνταν για τη μέτρηση των παραμορφώσεων βασίζονταν στη χρήση επιμηκυνσιομέτρων υψηλής ακρίβειας, πρόσφατα όμως αναπτύχθηκε η μέθοδος της γεωδαιτικής παρακολούθησης (monitoring) των μετακινήσεων στο όριο της εκσκαφής. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η διερεύνηση της ακρίβειας της γεωδαιτικής μεθόδου στις εφαρμογές παρακολούθησης των παραμορφώσεων σήραγγας. Το θεωρητικό σφάλμα της μεθόδου υπολογίστηκε στα 8mm. Παρόλα αυτά η ανάλυση γεωδαιτικά παρατηρούμενων μετατοπίσεων της οροφής σηράγγων σε καλής ποιότητας βραχώδη υλικά, όπου δεν αναμένονται μετακινήσεις τοιχωμάτων, παρουσιάζει φαινομενικές μετατοπίσεις 4mm, τιμή που αποτελεί την ακρίβεια της γεωδαιτικής μεθόδου.

ABSTRACT

Tunnel excavation produces a void, which tends to close due to the load of the overlying rock mass. Tunnel closure which is somewhat proportional to the tunnel's dimension and is sometimes a threat for modern tunnels, whose radius is usually larger than 10m and their length longer than 250m, takes the form of either a reduction of the tunnel section or a partial or total collapse.

In case of tunnel constructed in weak rocks, extra support, for instance a strong lining is necessary. This lining is expensive and efforts to be avoided, if possible, are always made. Decision making on to whether extra support is necessary is mostly based on the amplitude of subsidence of tunnel ceiling or its overall closure. So, several methods have been developed for monitoring tunnel deformation during the excavation procedure.

Deformation of tunnels, especially those in over-stressed or weak rocks, was traditionally measured based on *in situ*-adapted instruments (extensometers) or INVAR tapes of high accuracy (~1mm), techniques expensive and affecting or even disrupting the excavation works. In the last years, however, in many cases these techniques are replaced by conventional geodetic techniques - total station measurements at fixed reflectors regularly spaced along parallel sections. This method provides minimal interference with the tunneling operations, gives absolute rather than relative deformation measurements and is simple, inexpensive and functional.

The aim of this paper is to present an assessment of the accuracy of this technique and show that it is acceptable for most modern tunnels.

An *a priory* analysis of geodetic data indicates an expected accuracy of the order of 8,5 mm for both vertical and horizontal displacement measurements. However an analysis of a complete record of data collected from two different tunnels in Greece (Eytaxias tunnel part of Athens - Patras railway road and Drapetsona tunnel part of Piraeus by-pass road) excavated in good quality rock (limestone of RMR approximately 60) indicates that: in tunnels in which finite element analysis predicts no deformation and no eye-witness signs of deformation exist, geodetic data reveal up to 4mm displacements.

Therefore, we can arrive at three conclusions: First, the value of +/-4mm represents the accuracy of the geodetic method of monitoring tunnel deformation. Second, this method can be effectively applied when and where deformation higher than 4mm is expected; Consequently, it can be applied in the vast majority of tunnels dug nowadays in Greece and other areas. Third, this method is simple, functional and can replace all other methods for monitoring tunnel deformation, provided that the latter is above the 4mm threshold.

* GEODETIC MONITORING OF TUNNEL DEFORMATION.

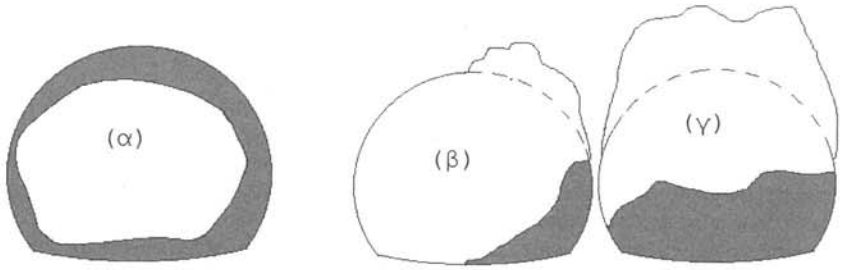
1. Εργαστήριο Γεωδαισίας Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, 26500 Πάτρα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Παραμορφώσεις σηράγγων, γεωδαιτική μέθοδος, θεωρητικό και πραγματικό σφάλμα.
KEY WORDS: Tunnel monitoring, geodetic method, *a priori* and *a posteriori* errors.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάνοιξη υπογείων έργων και την αφαίρεση τμημάτων εδαφικού υλικού, προκαλείται μεταβολή στο πεδίο των τάσεων γύρω από την εκσκαφή και εκδηλώνονται παραμορφώσεις στον περιβάλλοντα εδαφικό χώρο. Οι τιμές των παραμορφώσεων αυξάνονται σε περιπτώσεις χαλαρών εδαφών, μεγάλου ύψους υπερκειμένου εδάφους και εκσκαφών μεγάλων διαστάσεων (Szichy, 1973). Κατά τη διάνοιξη του έργου απαιτείται οι παραμορφώσεις να μην ξεπεράσουν τα όρια ασφαλείας που θέτουν σε κίνδυνο την ευστάθεια της υπόγειας εκσκαφής. Παράδειγμα αποτελεί η σήραγγα Τυμφρηστού που παρουσίασε παραμορφώσεις ως και 2m (Tsatsanifos et. al., 1999). Η τελική διατομή μετά τη σταθεροποίηση των παραμορφώσεων δεν είχε τις απαιτούμενες διαστάσεις και κρίθηκε απαραίτητη η επανεκσκαφή της σήραγγας, με αποτέλεσμα το τελικό κόστος να είναι πολλαπλάσιο του αρχικού προϋπολογισμού του έργου.

Παράλληλα με τον περιορισμό των παραμορφώσεων σε ασφαλή επίπεδα, οι τεχνικές διάνοιξης που ακολουθούνται τα τελευταία χρόνια απαιτούν να αναπτύσσει το εδαφικό μέσο γύρω από τη σήραγγα όλη την αντοχή του, ώστε με τον πιο απλό και οικονομικό συνδυασμό μέτρων αντιστήριξης να περιορίζονται οι παραμορφώσεις στα επιθυμητά όρια (NATM, New Austrian Tunneling Method, Rabcewicz, 1964; Muller and Fecker, 1978). Οι αβεβαιότητες όμως στον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων και της ποιότητας του εδάφους σε όλο το μήκος του έργου οδηγούν σε εκτιμήσεις που δεν αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά το έδαφος εκσκαφής. Συνεπώς αν οι παράμετροι της βραχόμαζας υπερεκτιμηθούν κατά τη γεωλογική και γεωτεχνική διερεύνηση του εδάφους, θα εμφανιστούν μεγαλύτερες παραμορφώσεις από τις αναμενόμενες ή ακόμη και φαινόμενα τοπικής ή γενικής αστάθειας για το συστημα αντιστήριξης που θα έχει επιλεγεί (εικ.1). Σε τέτοιες περιπτώσεις ξεπερνιούνται τα όρια ασφαλείας και στις διατομές που εμφανίζονται μεγάλες παραμορφώσεις απαιτείται η ενίσχυση του εδάφους με επιπλέον μέτρα αντιστήριξης. Για να γίνει όμως αντιληπτή η αυξηση των παραμορφώσεων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται διάφορες μετρητικές μέθοδοι.



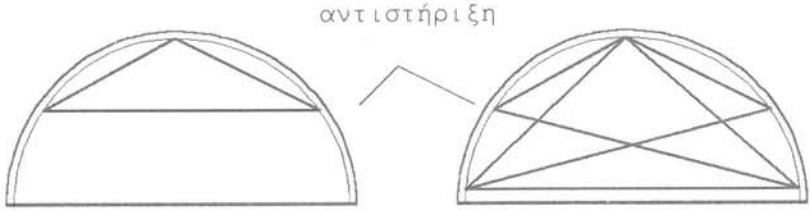
Εικ.1: Μορφές παραμόρφωσης διατομών σηράγγων: (α)σύγκλιση της διατομής, (β)τοπική αστοχία, (γ)γενική αστοχία. After Kovari and Amstad (1993).
Fig.1: Tunnel deformation: (a)reduction of the tunnel section, (b)partial collapse, (c)total collapse. After Kovari and Amstad (1993).

Η μέτρηση των παραμορφώσεων στο εσωτερικό μιας σήραγγας γίνεται με όργανα όπως ράβδοι ηλεκτρολυτικών αισθητήρων (electrolevel beams) για προσδιορισμό της καθίζησης και της σύγκλισης σήραγγας (Γεωργιάννου, 2000), με τη χρήση επιμηκυνσιομέτρων και με γεωδαιτικές μεθόδους.

2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΑ

Η μέτρηση των παραμορφώσεων στο εσωτερικό μιας σήραγγας γίνεται με τη χρήση επιμηκυνσιομέτρων (tape extensometers, INVAR tapes or wires) για τη μέτρηση συγκεκριμένων αποστάσεων (Schubert et al., 1994) με ακρίβεια 0,13mm ανά 10m (Dunnicliff, 1993, Kontogianni et al., 1999, εικ.2).

Η μέθοδος όμως των επιμηκυνσιομέτρων εμφανίζει σοβαρά μειονεκτήματα δεδομένου ότι:
1. εμποδίζει τις ταυτόχρονες εργασίες για τη διάνοιξη του έργου,
2. παρέχει σχετικές και όχι απόλυτες μετακινήσεις,
3. έχει μεγάλο κόστος.



Εικ.2: Μετρήσεις της σύγκλισης σήραγγας με επιμηκυνσιόμετρα κατά μήκος των γραμμων στο εσωτερικό της διατομής. After Kovari and Amstad (1993).
Fig.2: Measurements with INVAR tapes or wires along the lines indicated. After Kovari and Amstad (1993).

3. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

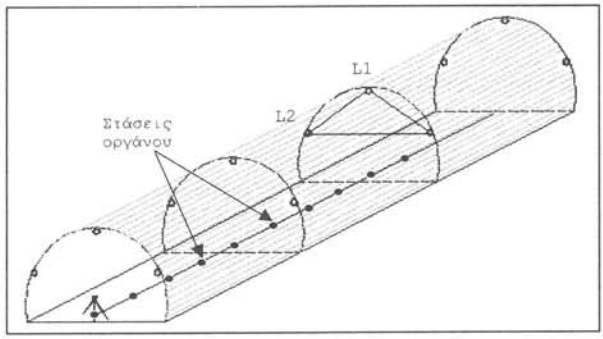
Κατά τη γεωδαιτική παρακολούθηση παραμορφώσεων σηράγγων ο έλεγχος πραγματοποιείται με τοπογραφική αποτύπωση των μετακινήσεων σε τρεις άξονες (3-D Optical Monitoring) με γεωδαιτικό σταθμό (total station) και με οπτικούς ανακλαστήρες που εγκαθίστανται αμέσως μετά την τοποθέτηση της προσωρινής αντιστήριξης (εικ.3). Με την εφαρμογή της γεωδαιτικής μεθόδου επιτυγχάνεται η μέτρηση των μετακινήσεων στο επίπεδο προκαθορισμένων διατομών και κάθετα σ' αυτές (δηλαδή παράλληλα στον άξονα της σήραγγας).

Οι γεωδαιτικές μετρήσεις αποσκοπούν:

1. Στον προσδιορισμό των μετακινήσεων τόσο στη γειτονία του περιβάλλοντος μέσου, όσο και στο κέλυφος της επένδυσης
2. Στον καθορισμό της επάρκειας των διαφόρων μέτρων υποστήριξης που έχουν προβλεφθεί από τη μελέτη
3. Στον καθορισμό της ευστάθειας και του βαθμού ασφαλείας του έργου
4. Στον καθορισμό της ανάγκης λήψης πρόσθετων μέτρων, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, έτσι ώστε να διασφαλισθεί ο απαιτούμενος βαθμός ασφαλείας του.

3.1 Περιγραφη της διαδικασιας μετρησεων

Η γεωδαιτική μέθοδος παρακολούθησης των εδαφικών παραμορφώσεων στα τοιχώματα μιας σήραγγας βασίζεται στις αρχές της ταχυμετρίας. Η σκόπευση γίνεται διαδοχικά σε κάθε έναν από τους τρεις (ή περισσότερους στόχους) μιας διατομής (L1, L2, L3; εικ.3) και καταγράφονται οι συντεταγμένες τους. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται καθημερινά μέχρι τη χρονική στιγμή που δεν παρατηρείται επιπλέον μεταβολή των συντεταγμένων των στόχων, σε διάστημα περίπου ενός μήνα από την τοποθέτηση των μέτρων αντιστήριξης, για διάνοιξη σε σχετικά μικρά βάθη και για κανονικούς ρυθμούς προχώρισης (συνήθως 3m /μέρα /μέτωπο). Εξ' αιτίας όμως ερπυστικών παραμορφώσεων του εδάφους, στην παραπάνω διατομή γίνονται μετρήσεις μια φορά την εβδομάδα για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά τον πρώτο μήνα συστηματικής παρακολούθησης με σκοπό να προβλεφθεί πιθανή αστοχία της σήραγγας λόγω ερπυσμού του εδάφους (Καββαδάς, 2000).



Εικ.3: Γεωδαιτική μέθοδος παρακολούθησης των παραμορφώσεων σε σήραγγα. Οι στόχοι (ανακλαστήρες) κάθε διατομής συμβολίζονται με L1, L2, L3 (Kontogianni et al., 1999).
Fig.3: Geodetic method for the observation of tunnel deformation. L1, L2 and L3 represent the reflectors of each section (Kontogianni et. al., 1999).

4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

4.1 A priori *σφαλμα της γεωδαιτικης μεθόδου παρακολουθησης των συγκλισεων σήραγγας.*

Οι τιμές των κατακορύφων και των οριζοντίων συγκλίσεων κατά την εκσκαφή σήραγγας υπολογίζονται με βάση τη γεωδαιτική μέθοδο ως εξής:

- η κατακόρυφη σύγκλιση υπολογίζεται ως η μεταβολή του υψομέτρου του κεντρικού κατόπτρου (στην κλείδα της σήραγγας) δεδομένου ότι ο πυθμένας της σήραγγας θεωρείται αμετακίνητος.
- η οριζόντια σύγκλιση υπολογίζεται ως η μεταβολή της οριζόντιας απόστασης των δύο πλευρικών κατόπτρων.

Συνεπώς τα σφάλματα που εμπεριέχονται στις τιμές της κατακόρυφης και οριζόντιας σύγκλισης είναι τα σφάλματα μέτρησης του υψομέτρου του κεντρικού κατόπτρου και της απόστασης των δυο πλευρικών κατόπτρων αντίστοιχα.

4.2 Σφαλματα μετρησης του υψομετρου του κεντρικου κατοπτρου

Το συνολικό σφάλμα που υπεισέρχεται στη μέτρηση του κατακορύφου υψομέτρου σημείου οφείλεται σε σφάλματα υπολογισμού του υψομέτρου από το όργανο, που προκύπτουν από σφάλματα μετρήσεων αποστάσεων και γωνιών, σε σφάλματα κέντρωσης, σε σφάλματα εστίασης του κατόπτρου (σ_t= της τάξης των 5mm) και σε σφάλματα μέτρησης με μετροταινία (μέτρηση ύψους οργάνου, σ_{tm}= της τάξης του 2mm) (Μαντέλας et. al, 1995). Η εξασφάλιση της σταθερότητας του υψομέτρου του πυθμένα (όπου βρίσκονται οι στάσεις του οργάνου, εικ.3) γίνεται με τακτικές, επαναλληπτικές χωροσταθμίσεις από εξωτερικό σταθερό σημείο. Σε περιπτώσεις που δεν ελέγχεται το υψόμετρο του πυθμένα πιθανή ανύψωσή του (όπως πχ. στη σήραγγα Τυμφρηστού) θα οδηγήσει σε λανθασμένη εκτίμηση της βύθισης της οροφής.

Το συνολικό σφάλμα υπολογισμού της κατακόρυφης σύγκλισης σε σήραγγα με γεωδαιτική μέθοδο παρακολούθησης με βάση το Νόμο Μετάδοσης των Σφαλμάτων (Bomford, 1971) και λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα κέντρωσης, εστίασης κατόπτρου και μέτρησης του ύψους οργάνου με μετροταινία υπολογίστηκε: (για μήκος σκόπευσης= 25m). Ομοίως υπολογίζεται και το σφάλμα υπολογισμού της οριζόντιας σύγκλισης σήραγγας και προκύπτει σ ?7.5mm.

4.3 A posteriori *σφαλμα της γεωδαιτικης μεθοδου παρακολουθησης συγκλισεων σηραγγας.*

Η πραγματική ακρίβεια της γεωδαιτικής μεθόδου παρακολούθησης των παραμορφώσεων σε σήραγγα μπορεί να προκύψει απο τις τιμές συγκλίσεων που καταγράφηκαν γεωδαιτικά σε σήραγγες στις οποίες δεν αναμένονταν παραμορφώσεις (σήραγγες σε καλής ποιότητας βράχο με χαμηλό ύψος υπερκειμένων). Σ' αυτές τις περιπτώσεις η επίλυση της υπόγειας εκσκαφής με προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων προβλέπει πρακτικά μηδενικές μετακινήσεις των τοιχωμάτων της διατομής. Συνεπώς οι τιμές συγκλίσεων που μετρήθηκαν με τη χρήση γεωδαιτικών μεθόδων κατά τη διάνοιξη του έργου δεν είναι στατιστικά σημαντικές αλλά παρέχουν την ακρίβεια της γεωδαιτικής μεθόδου στις εφαρμογές παρακολούθησης των παραμορφώσεων στο εσωτερικό σηράγγων. Παρακάτω εξετάζονται αναλυτικά τιμές συγκλίσεων δύο διαφορετικών σηράγγων (Σήραγγα Ευταξία Σιδηροδρομικής Γραμμής Ελευσίνας-Κορίνθου και Σήραγγα Δραπετσώνας Περιφερειακής Λεωφόρου Πειραιά) στις οποίες δεν αναμένονταν παραμορφώσεις και βάσει των φαινομενικών τιμών συγκλίσεων προσδιορίζεται η ακρίβεια της γεωδαιτικής μεθόδου.

5. ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΥΤΑΞΙΑ - ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ-ΚΟΡΙΝΘΟΥ

Η σήραγγα Τρικέρατου στην περιοχή Ευταξία – Κόμβος Ν. Περάμου διανοίχτηκε στα πλαίσια της Νέας Σιδηροδρομικής Γραμμής Ελευσίνας-Κορίνθου. Το συνολικό μήκος της σήραγγας φτάνει τα 1700 m με μέγιστο υπερκείμενο ύψος 120 m. Η διάμετρος της διατομής που θα εκσκαφθεί είναι 12,0 m. Το έργο μελετήθηκε απο την ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε. και οι εργασίες διάνοιξης ολοκληρώθηκαν πριν από τρια χρόνια περίπου από την κατασκευαστική εταιρία ΑΒΑΞ Α.Ε. Στοιχεία της μελέτης του έργου αντλήθηκαν από το τεύχος μελέτης του έργου που συντάχθηκε από την ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε.

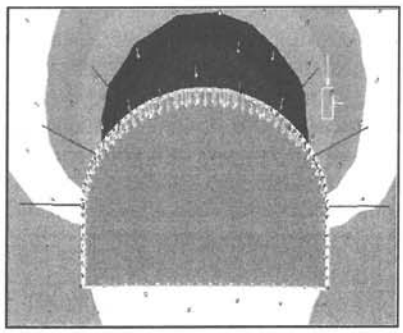
5.1 Γεωλογια της περιοχης - Γεωτεχνικη ταξινομηση βραχομαζας

Γεωλογικά οι σχηματισμοί που εμφανίζονται κυρίως είναι αποθέσεις Πλειστοκαινικής ηλικίας, οι οποίες περιλαμβάνουν χαλαρή αργιλώδη άμμο με χαλίκια κατά θέσεις και στη συνέχεια άμμο με ιλύ και λατύπες. Οι υποκείμενοι ασβεστόλιθοι γίνονται λεπτοπλακώδεις με ενδιαστρώσεις ψαμμιτικών μαργών. Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από Κρητιδικούς ασβεστόλιθους με κερατολιθικούς κονδύλους που στα ανώτερα στρώ-

ματα είναι λεπτοπλακώδεις ενώ βαθύτερα γίνονται παχυπλακώδεις. Στο σχηματισμό αυτό θα διατρηθεί ολόκληρη η σήραγγα.

Η ταξινόμηση της βραχόμαζας κατά μήκος της σήραγγας έγινε με τα συστήματα Bieniawski (RMR, Bieniawski, 1989) και Barton (Q; Barton et. al., 1974). Με βάση το κριτήριο Bieniawski η τιμή του RMR εκτιμήθηκε από 32 ως 61 (πτωχή /κατηγορία IV ως καλή /κατηγορία II). Βάσει του κριτηρίου του Barton η τιμή του δείκτη Q εκτιμήθηκε ότι θα κυμαινόταν από 0,27 ως 8,00.

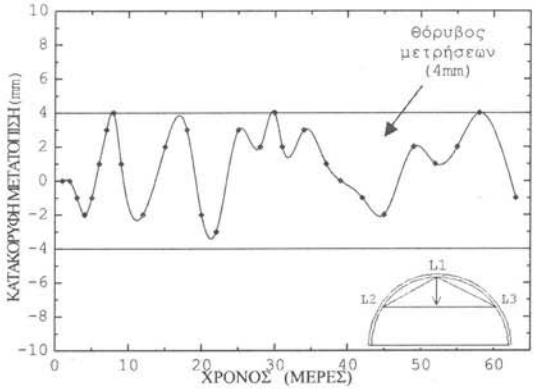
Για μήκος 200m από το μέτωπο εισόδου αναμένεται να συναντηθεί ασβεστολιθικό υλικό με δείκτη RMR=61 (κατηγορία II) και με υπερκείμενο που κυμαίνεται από 20 ως 45m. Η ανάλυση της σήραγγας με μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων προβλέπει μέγιστη τιμή κατακόρυφης μετακίνησης της οροφής 0,7mm (υπερκείμενο 60m; εικ.4). Είναι προφανές ότι η αναμενόμενη κατακόρυφη μετακίνηση εκτιμάται μικρότερη από 0,7mm, για το υπερκείμενο ύψος που υπάρχει στο εξεταζόμενο μήκος της σήραγγας (<60m)



Εικ.4: Ανάλυση με πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων. Προβλεπόμενες κατακόρυφες μετατοπίσεις των τοιχωμάτων της σήραγγας του Ευταξία (σε mm).
Fig.4: Finite element analysis. Estimated subsidence of Eytaxias tunnel ceiling and walls (in mm).

5.2 Γεωδαιτικά στοιχεία

Οι τιμές συγκλίσεων των διατομών που καταγράφηκαν στο τμήμα της υπόγειας σιδηροδρομικής οδού για τα πρώτα 200m του μήκους της παρουσιάζονται στην εικ.5. Η μορφή και το εύρος της μετακίνησης είναι ενδεικτική για όλες τις διατομές που παρακολουθούνται στα πρώτα μέτρα της σήραγγας. Από την εικ.5 προκύπτει ότι η διακύμανση των παρατηρούμενων τιμών κατακόρυφης μετατόπισης είναι ±4mm.



Εικ.5: Φαινομενικές μεταβολές του υψομέτρου του κεντρικού ανακλαστήρα (L1) σε αντιπροσωπευτικό σημείο της σήραγγας Ευταξία κατά τη διάρκεια μετρήσεων σε διάστημα 2 περίπου μηνών. Οι μεταβολές αυτές βρίσκονται σε ζώνη πλάτους +/-4mm και δεν εκφράζουν πραγματικές μεταβολές, αλλά την αβεβαιότητα των μετρήσεων.
Fig.5: Apprent elevation changes of the central reflector (L1) height at a representative position of Eytaxias tunnel for a two-month period. The changes range between the values +/-4mm, which is not real tunnel deformation but express the method accuracy.

6. ΣΗΡΑΓΓΑ ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥ ΠΕΙΡΑΙΑ

Η υπό κατασκευή Περιφερειακή Λεωφόρος του Πειραιά περιλαμβάνει την κατασκευή διπλής σήραγγας στη Δραπετσώνα (περιοχή εργοστασίου ΔΕΗ). Το μήκος της υπόγειας οδού είναι 220 m με μέγιστο υπερκείμενο 40 m και διάμετρο 10,0m. Το έργο μελετήθηκε από την Α.Δ.Φ. Σύμβουλοι Γεωτεχνικοί Μηχανικοί Ε.Π.Ε. Η διάνοιξη της σήραγγας βρίσκεται σε εξέλιξη από την κατασκευαστική εταιρία ΑΒΑΞ Α.Ε.

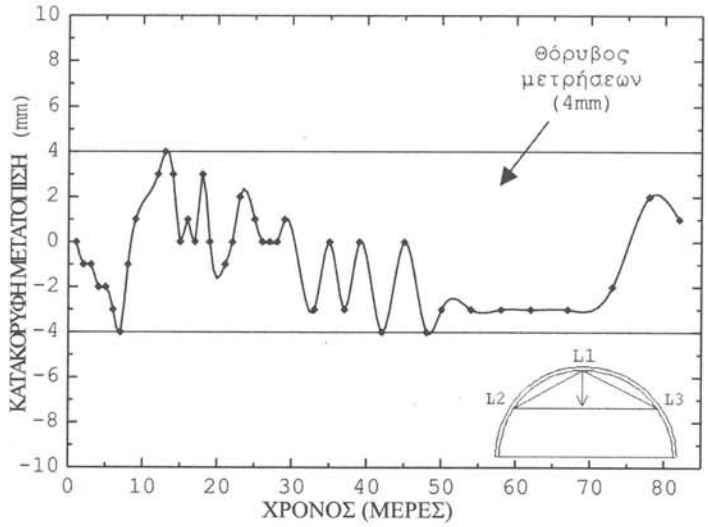
6.1 Γεωλογία της περιοχής - Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχόμαζας

Σύμφωνα με τη γεωλογική μελέτη οι σχηματισμοί που δομούν την περιοχή ανήκουν στους νεογενείς σχηματισμούς και περιλαμβάνουν από τους παλαιότερους προς τους νεότερους κίτρινες αμμούχες μάργες με ενστρώσεις κροκαλοπαγών, μαργαϊκούς ασβεστολίθους με λεπτές ενστρώσεις ψαμμιτών, μάργες κιτρινόλευκες και πορώδεις υπόλευκους ασβεστόλιθους στα ανώτερα στρώματα.

Η γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχόμαζας έγινε βάσει της μεθόδου Bieniawski (RMR), της μεθόδου Barton (Q) και της μεθόδου GSI (Hoek, 1994). Η τιμή της παραμέτρου RMR εκτιμήθηκε 41 και 61 (μέτρια/κατηγορία III ως καλή/κατηγορία II) για δυό τμήματα (Α και Β) του κυρίως τμήματος της εκσκαφής. Η βαθμονόμηση κατά Barton έδωσε τιμές της παραμέτρου Q 4,0 και 16,0 και η βαθμονόμηση κατά GSI έδωσε τιμές GSI 41 και 60 για τα τμήματα Α και Β αντίστοιχα. Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται μήκος 50m (με υπερκείμενο ΄25m) του τμήματος Β στο οποίο πρακτικά εκτιμήθηκε ότι δεν αναμένονται μετατοπίσεις της οροφής της σήραγγας.

6.2 Γεωδαιτικά στοιχεία

Οι τιμές συγκλίσεων των διατομών που καταγράφηκαν στο τμήμα της υπόγειας οδού παρουσιάζονται στην εικ.6. Όπως και στην περίπτωση της σήραγγας του Ευταξία η μορφή και το εύρος της μετακίνησης είναι ενδεικτική για όλες τις διατομές που παρακολουθούνται στο υποεξέταση τμήμα της σήραγγας. Από την εικ.6 προκύπτει ότι η διακύμανση των παρατηρούμενων τιμών κατακόρυφης μετατόπισης είναι ±4mm.



Εικ. 6: Φαινομενικές μεταβολές του υψομέτρου του κεντρικού ανακλαστήρα (L1) σε αντιπροσωπευτικό σημείο της σήραγγας της Δραπετσώνας κατά τη διάρκεια μετρήσεων σε διάστημα 3 μηνών. Οι μεταβολές αυτές βρίσκονται σε ζώνη πλάτους +/-4mm και δεν εκφράζουν πραγματικές μεταβολές, αλλά την αβεβαιότητα των μετρήσεων.

Fig.6: Apparent elevation changes of the central reflector (L1) height at a representative position of Drapetsona tunnel for a two-month period. The changes range between the values +/-4mm, which is not real tunnel deformation but express the method accuracy.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ενώ το θεωρητικό μοντέλο δείχνει ότι η ακρίβεια είναι ΄8mm, πραγματικές μετρήσεις σε σήραγγες όπου δεν αναμένονται παραμορφώσεις έδειξαν ότι οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται σε ζώνη πλάτους ±4mm (θόρυβος μετρήσεων), και η οποία συνεπώς εκφράζει την ακρίβεια της μεθόδου σε συνήθεις μετρήσεις. Με βάση το παραπάνω συμπέρασμα είναι προφανές ότι παρατηρήσεις συγκλίσεων με εύρος μικρότερο από ±4mm δεν είναι στατιστικά σημαντικές και συνεπώς δεν περιγράφουν τη συμπεριφορά του εδάφους. Αντίθετα, μετρήσεις πάνω από το όριο αυτό, αν έχουν γίνει με χρήση των προδιαγραφών (πχ. συστηματική επαναμέτρηση της όδευσης), με ελεγμένα όργανα, σε συνθήκες σχεδόν ομοιόμορφες, εκφράζουν την πραγματική συμπεριφορά του εδάφους. Αν απαιτείται να ανιχνευτούν παραμορφώσεις μικρότερες των 4mm, θα πρέπει να εφαρμόζονται άλλες μέθοδοι, πχ. μετρήσεις με εξαναγκασμένες κεντρώσεις, γεωμετρική χωροστάθμιση της βασικής όδευσης κ.λ.π.

Συμπερασματικά, βάσει του θεωρητικού προσδιορισμού της ακρίβειας της μεθόδου και πραγματικών μετρήσεων δυο σηράγγων, προκύπτει ότι η γεωδαιτική παρακολούθηση των μετατοπίσεων των τοιχωμάτων σήραγγας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις μεθόδους καταγραφής των παραμορφώσεων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε την κατασκευάστρια εταιρία ΑΒΑΞ Α.Ε και ιδιαίτερα τον κ. Δ.Τεσσέρη, που μας διέθεσε τα στοιχεία συγκλίσεων και στοιχεία των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών των δυο έργων. Επίσης ευχαριστούμε την εταιρία ΠΑΝΓΑΙΑ Ε.Π.Ε., η οποία μας διέθεσε επιπλέον στοιχεία της μελέτης της σήραγγας Ευταξία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Designing of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 2, pp. 183-236.

BIENIAWSKI,Z.T.(1989). Engineering Rock Mass Classifications. Wiley & Sons, NY.

BOMFORD, B. 1971: Geodesy (Third edition).

ΓΕΩΡΓΙΑΝΝΟΥ, Β. Ν. (2000). Χρήση Γεωτεχνικών Οργάνων-Οργανομετρήσεις. Επιστημονικές Εκδόσεις Γρ. Παρισιάνος, ISBN: 960-340-170-6, 220σελ.

DUNNICLIFF, J. (1993). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A., 577pp.

HOEK, E.(1994). Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*,2(2),pp. 4-16

ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Μ. (1999). Σημειώσεις Σχεδιασμού Υπογείων Έργων. Έκδοση Ε.Μ.Πολυτεχνείου (www.civil.ntua.gr/kavvadas).

KONTOGIANNI, V., TESSERIS, D., STIROS S. (1999). Efficiency of geodetic data to control tunnel deformation. Proc. of The 9th FIG International Symposium on Deformation Measurements. Olsztyn, Poland. pp. 206-214.

KOVARI, K., AMSTAD, C. (1993): Decision making in tunneling based on field measurements. Compressive rock engineering, Bergamon 4, pp. 571-606.

MULLER, L., FECKER, E. (1978). Grundgedanken und Grundsatze der Neuen Osterreichischen Tunnel bauweise. Felsmechanik Kolloquium, Karlshuhe, Trans. Tecn. Publ., Claustal, Germany.

ΞΕΙΔΑΚΗΣ, Γ. (1997). Μέθοδοι Ανάλυσης Υπογείων Έργων σε πετρώματα. Μέρος ΙΙΙ. Μέθοδοι Παρατήρησης. Πρακτικά Ημερίδας: Γεωλογία Σηράγγων & Υπογείων Έργων –Εμπειρίες από τον Ελληνικό Χώρο. Ελ. Γεωλογική Εταιρία, Αθήνα, p. 317-333.

RABCEWICZ, L.V. (1964). The New Austrian Tunneling Method. Water and Power, Part I, November, pp. 43-457.

SCHUBERT, P., VAVROVSKY, G.M. (1994). Interpretation of monitoring results. *World Tunneling*. November, pp. 351-356.

SZÉCHY, K.(1973). The art of tunneling. 2nd edition. Akadémiai Kiadó, Budapest.

TSATSANIFOS, C., MANTZIARAS, P., GEORGIOU, D. (1999). Squeezing rock response to NATM Tunneling. A case study. Proc. of the Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground C onstruction in Soft Rock. Japan, pp. 167-172.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1679-1687, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1679-1687, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΑΤΡΩΝ*

Γ. ΚΟΥΚΗΣ[1], Δ. ΡΟΖΟΣ[2], Ν. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Μελετώνται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών, καταγράφονται τα γεωτεχνικά προβλήματα που συναντώνται και τελικά δίνεται ο τεχνικογεωλογικός χάρτης αυτής, που αρχικά συντάχθηκε σε κλίμακα 1:5.000. Πρόκειται για χάρτη πολλαπλού σκοπού, συνοπτικού χαρακτήρα και μεγάλης κλίμακας, στον οποίο οι σχηματισμοί που συναντώνται ομαδοποιήθηκαν σε έντεκα (11) λιθολογικούς τύπους. Ειδικότερα διακρίθηκαν δύο λιθολογικοί τύποι ανθρωπογενών αποθέσεων, πέντε πρόσφατων γεωλογικών σχηματισμών, δύο παλαιότερων τεταρτογενών σχηματισμών και τέλος δύο πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων, που αποτελούν και το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Στους τελευταίους εμφανής είναι η εκδήλωση αστοχιών πρανών σε θέσεις συνδυασμού δυσμενών μορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό τεχνικών έργων.

ABSTRACT

In the present study, the engineering geological conditions of Patras city wider area are given, the manifested geotechnical problems are recorded, and finally the engineering geological map of the area under study is compiled, based on the interpretation of the available results.

According to the guide of the preparation of engineering geological maps, which was prepared by a Commission of IAEG and published by UNESCO in 1976, this map is a multipurpose, comprehensive and of large scale one.

In that map the geological formation encountered in the area under study were grouped into eleven (11) lithological types.

More specifically, two (2) lithological types of man-made deposits (recent and old fills), which cover with small thickness (less that 4m) the Quaternary formations and Plio-pleistocene sediments at some places, were distinguished. The recent Quaternary formations in the studied area were distinguished into five (5) lithological types, namely those of marshy deposits, coastal sands, river bed deposits, Holocene deposits, as well as weathering materials with slipping masses in them-products of old slope failures.

The above geological formations, usually with a thickness of some ten meters, are loose materials and show a bad geomechanical behaviour. Thus, they should be treated as difficult grounds, and so they need proper manipulation in the case of the foundations in certain constructions.

The old Quaternary formations were grouped into two (2) lithological types, namely those of alluvial and diluvial deposits. They are formations of high heterogeneity and non uniform geomechanical behaviour, which should be studied in detail in every case of human activity.

Finally, the Plio-pleistocene sediments, which consist the geological basement of Patras city area, were also distinguished into tow (2) lithological types: Pleistocene formations and Pliocene sediments. Referring to these formations, which show a wide surface development and a considerable thickness, the combination of unfavourable morphological and hydrogeological conditions with human activities favours the manifestation of slope failures, such as landslides, creepings and/or earth flows. This behaviour should be seriously taken in mind during the planning stage of the various technical works.

KEY WORDS: Patras city, Eng. geological map, Lithological types, Geotechnical unities, Geomechanical characteristics, Geotechnical problems, Urban planning

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Πόλη της Πάτρας, Τεχνικογεωλογικός χάρτης, Λιθολογικοί τύποι, Γεωτεχνικές ενότητες, Γεωμηχανικά χαρακτηριστικά, Γεωτεχνικά προβλήματα, Αστικός σχεδιασμός

* ENGINEERING GEOLOGICAL MAP OF PATRAS CITY WIDER AREA, GREECE

1. Department of Geology, Univ. of Patras, Rio Patras.
2. Eng. Geology Dept. of IGME, 70 Messogion Ave., Athens

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα μελέτη, δίνονται με λεπτομέρεια η φυσική κατάσταση και οι τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των σχηματισμών, καθώς και τα γεωτεχνικά προβλήματα που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Πατρών. Τα στοιχεία αυτά, που εκτός από την βασική πληροφόρηση που παρέχουν βοηθούν και στην καλύτερη κατανόηση των υπεδαφικών συνθηκών στην περίπτωση μελέτης ή και κατασκευής των τεχνικών έργων, δίνονται με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση και βασικά αποτυπώνονται στον τεχνικογεωλογικό χάρτη που συντάχθηκε για την περιοχή έρευνας.

Η ευρύτερη περιοχή της πόλης της Πάτρας, που μελετήθηκε εντοπίζεται στο ΒΔ/κό τμήμα του νομού Αχαΐας(Σχήμα 1), που πέρα από τις συχνές και τοπικά πολύ σοβαρές αστοχίες πρανών που χαρακτηρίζουν κύρια τους Πλειοπλειστοκαινικούς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούν και το γεωλογικό υπόβαθρο της πόλης, υφίσταται και τις συνέπειες μιας έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Τα προβλήματα αυτά είναι πολύ σοβαρά ιδιαίτερα σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή όπως η πόλη της Πάτρας, όπου μάλιστα σε συγκεκριμένες περιοχές της έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές.

Μορφολογικά η πόλη αναπτύσσεται στις δυτικές και νοτιοδυτικές παρυφές λοφοειδών εξάρσεων, που αποτελούν δυτικά αντερείσματα του όρους Παναχαϊκό. Τρεις κύριοι υδρογραφικοί άξονες διασχίζουν την περιοχή μελέτης με διεύθυνση περίπου Α-Δ και βοηθούν στην απορροή των επιφανειακών νερών. Πρόκειται από νότια προς βόρεια, για τους ποταμούς Γλαύκο, Διακονιάρη και Ελεκίστρα.

Γενικά, το μορφολογικό ανάγλυφο που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή αποτελεί προϊόν της έντονης τεκτονικής των μειζόνων διαρρήξεων – ρηγμάτων, των ανοδικών κινήσεων που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή και οι οποίες εξακολουθούν να είναι ενεργές, ακόμη και σήμερα, όπως φαίνεται από τη σεισμικότητα της περιοχής, καθώς και των διαβρωτικών διεργασιών των οπωσδήποτε χαμηλής έως μέτριας συνεκτικότητας σχηματισμών που τη δομούν.

Σχήμα 1. Χάρτης εντοπισμού της περιοχής μελέτης.
Figure 1. Location map of the study area.

Οι σχηματισμοί αυτοί που είναι ευαποσάθρωτοι, σε συνδυασμό με την απότομη μορφολογία, την τεκτονική τους καταπόνηση αλλά και τις ιδιάζουσες κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής εξακολουθούν να υπόκεινται στην έντονη δράση των αποσαθρωτικών - διαβρωτικών παραγόντων, η οποία ευνοεί και τη δημιουργία συνθηκών αστάθειας στα πρανή (Koukis-Rozos,1982, Koukis, 1988, Koukis-Rozos-Hadzinakos, 1996).

Ο χώρος ανάπτυξης της οικιστικής περιοχής αλλά και της βιομηχανικής ζώνης της πόλης παρουσιάζει μέτριες κλίσεις, που γίνονται πλέον ισχυρές στα ανώτερα τμήματα των πρανών των υδρογραφικών αξόνων. Ήπιες κλίσεις διαμορφώνονται στην παράλια ζώνη στα δυτικά αλλά και στο νότιο τμήμα της πόλης, όπου και οι δελταϊκές ζώνες Γλαύκου και Διακονιάρη.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης της πόλης της Πάτρας, εντοπίζεται κοντά στο χώρο επώθησης της γεωτεκτονικής ζώνης Ωλονού – Πίνδου πάνω στη ζώνη Γαβρόβου, τα ιζήματα της οποίας (φλύσχης) φαίνεται να

αποτελούν το μεσοζωικό υπόβαθρο της πόλης (Τσόφλιας,1980), που καλύπτεται από ιζήματα του Πλειοπλειστοκαίνου μεγάλου πάχους.

Τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα που καλύπτουν την περιοχή, εντάσσονται στην ιζηματογενή λεκάνη του Πατραϊκού (Ρόζος, 1989), αποτελούν το γεωλογικό υπόβαθρο της πόλης και λόγω των έντονων ανοδικών κινήσεων που σημειώθηκαν κατά το Πλειστόκαινο (περί το τέλος της ιζηματογένεσης) οι θαλάσσιες και υφάλμυρες λεπτομερείς φάσεις αυτών μετέβαιναν σε λιμναίες και τελικά σε αδρομερείς ποταμοχερσαίες, που συναντώνται σήμερα σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 200 μέτρων.

Γενικά το συνολικό τους πάχος, όπως διαπιστώνεται από βιβλιογραφικές αναφορές, φθάνει σε αρκετές εκατοντάδες μέτρα. Στις κορυφές των αντερεισμάτων και γενικά κατά μήκος των κορυφών των λοφοειδών εξάρσεων, τα υπόψη ιζήματα καλύπτονται από διλουβιακές αποθέσεις (μικτές φάσεις κροκαλών–χαλίκων, ψηφίδων και λεπτομερών με μέτρια συνεκτικότητα), το μέγιστο πάχος των οποίων είναι της τάξης των λίγων δεκάδων μέτρων.

Επίσης σύγχρονες προσχώσεις ή και αποθέσεις κοιλάδων έχουν μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη στις παράκτιες ζώνες στα βόρεια και νότια του πολεοδομικού συγκροτήματος με πάχος που φθάνει μέχρι αρκετές δεκάδες μέτρων, ενώ τοπικά στα πρανή εντοπίζονται αποσαθρώματα και ολισθημένες μάζες.

Από πλευράς τεκτονικής, κυρίαρχο γεγονός στον ευρύτερο χώρο έρευνας είναι η γειτνίασή της με τεκτονικές τάφρους με σύγχρονη γεωδυναμική εξέλιξη. Αυτή η τεκτονική διαπιστώνεται αφ' ενός μεν από την ισχυρή μορφολογία που παρατηρείται πέρα από τους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου και στους πλειοπλειστοκαινικούς σχηματισμούς, που πολλές φορές διατέμνονται από συνιζηματογενή ρήγματα και αφ' ετέρου από την εκδήλωση αυξημένης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή. Αναφορικά με τα ρήγματα που χαρακτηρίζουν την ευρύτερη περιοχή μελέτης, σημειώνεται η παρουσία μειζόνων τεκτονικών διαρρήξεων με διεύθυνση κυρίως ΒΔ/κή - ΝΑ/κή και ΒΑ/κή - ΝΔ/κή. Σε αυτές και κυρίως στις δεύτερες, εντάσσονται τα ρήγματα εκείνα που διαμορφώνουν τα όρια των τεκτονικών λεκανών απόθεσης των νεογενών ιζημάτων, που επικρατούν στην παραλιακή ζώνη που εξετάζεται. Τέτοιες μείζονες ασυνέχειες επικρατούν και μέσα στα πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα.

Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου ρήγματος είναι αυτό της Αγίας Τριάδας. Πρόκειται για το πλέον πρόσφατα ενεργοποιημένο ορατό ρήγμα στην Περιοχή. Το ρήγμα αυτό που ανέδρασε με τους σεισμούς του 1987, προκάλεσε ζημιές σε κατασκευές, γήπεδα, στη σιδηροδρομική γραμμή αλλά και στον παραλιακό δρόμο, με πλέον εντυπωσιακή τη διάτμηση πρόσφατων επιχωματώσεων στην παραλία.

Η δυναμική φόρτιση των σχηματισμών από τους συχνούς αβαθείς και συνήθως μεγάλου μεγέθους σεισμούς αποτελεί ένα από τους βασικούς παράγοντες εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων όπως ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές εδαφών κλπ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι σεισμοί του 1965-66.

Από τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ. 1989), προκύπτει ότι οι σεισμοί μεγέθους >5,5 της κλίμακας Richter, παρουσιάζουν συχνή περίοδο επανάληψης. Συμπεραίνεται, συνεπώς η μεγάλη σεισμικότητα καθώς και ο υψηλός βαθμός σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής.

Έτσι, ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός Ε.Α.Κ. 2000, (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.- Ο.Α.Σ.Π., 2000) κατατάσσει την περιοχή μελέτης στην κατηγορία ΙΙΙ ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας, με σεισμική επιτάχυνση εδάφους Α = 0,24g.

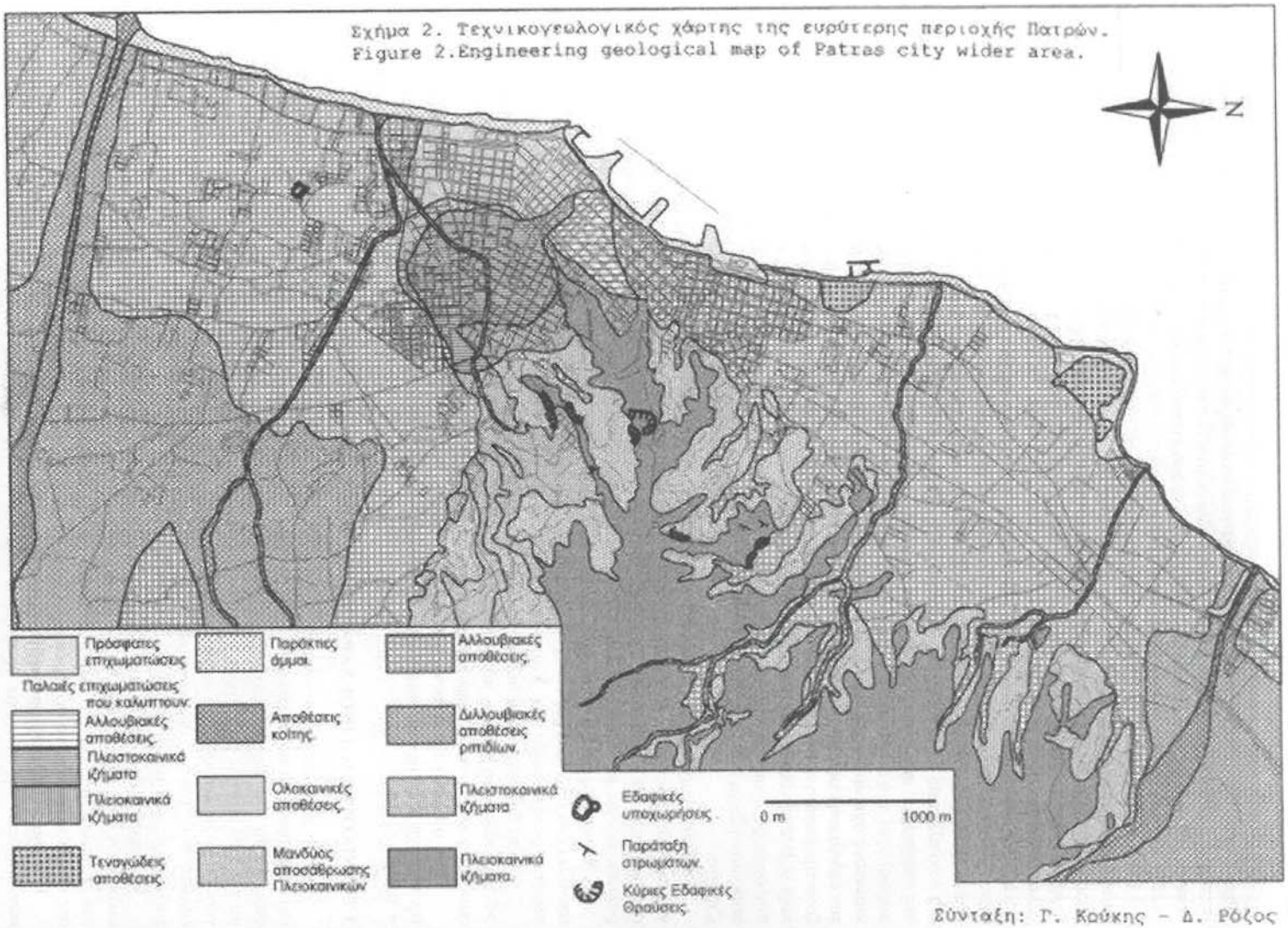
3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Για την πληρέστερη κατανόηση των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των επιτόπιων τεχνικογεωλογικών εξετάσεων αλλά και όλα τα γεωτεχνικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν είτε από βιβλιογραφικές αναφορές είτε από εκτεταμένο γεωτρητικό πρόγραμμα που εκτελέστηκε στην περιοχή από το Πανεπιστήμιο Πατρών. Με βάση τα πορίσματα των παραπάνω ερευνών, οι επιχωματώσεις και οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή, διακρίθηκαν σε ένδεκα (11) λιθολογικούς τύπους, σύμφωνα με τον οδηγό της UNESCO - IAEG, 1976 (Σχήμα 2). Οι τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των τύπων αυτών, είναι οι ακόλουθοι:

Πρόσφατες επιχωματώσεις (μπάζα), από εκσκαφές οικοπέδων, διαμορφώσεις χώρων και κατεδαφίσεις οικοδομών, που έχουν αποτεθεί σε συγκεκριμένες περιοχές ή χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση τμημάτων της παράκτιας ζώνης. Υλικά ασύνδετα ιλυοαμμώδους κυρίως σύστασης, με αδρομερή ποικίλης προέλευσης και με κυμαινόμενο σε ευρέα όρια πάχος από θέση σε θέση (1-6m).

Ιστορικές (Παλαιές) και νεότερες επιχωματώσεις. Μπάζα από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές οικιστικών τμημάτων της πόλης με θραύσματα δομικών λίθων, κεράμους, επιχρίσματα και λοιπά κατασκευαστικά υλικά, ανάμικτα με εδαφικούς σχηματισμούς ιλυοαμμώδους κυρίως σύστασης. Εντοπίζονται σε μεγάλο τμήμα

Σχήμα 2. Τεχνικογεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής Πατρών.
Figure 2.Engineering geological map of Patras city wider area.



Σύνταξη: Γ. Κούκης - Δ. Ρόζος

της κατοικημένης περιοχής, κυρίως στις θέσεις της Ρωμαϊκής και Βυζαντινής πόλης, όπου καλύπτουν διάφορους σχηματισμούς, ενώ εμφανίζουν πάχος που κυμαίνεται από 0.5 έως 4m περίπου κατά θέσεις. Καλύπτουν: Αλλουβιακές αποθέσεις, Πλειστοκανικά και Πλειοκαινικά ιζήματα.

Τεναγώδεις αποθέσεις, από αμμοϊλυώδη έως αργιλοϊλυώδη υλικά, τεφρού έως τεφροπράσινου χρώματος με φυτικά υπολείμματα και οργανικά. Σχηματισμός πολύ χαμηλής φέρουσας ικανότητας και υψηλής συμπιεστότητας, που είναι κορεσμένος λόγω υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, γεγονός που απαιτεί της εξυγίανσή του, σε περίπτωση οικιστικής ανάπτυξης. Το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 5-10m.

Παράκτιες άμμοι. Άμμοι, ψηφίδες, χάλικες ποικίλου μεγέθους και κροκάλες που καλύπτουν την παράκτια ζώνη της περιοχής του χάρτη σε σημαντική έκταση και εύρος 20-8Om. Χαλαρός σχηματισμός μικρού γενικά πάχους (7-16m), συνήθως πτωχά διαβαθμισμένος με μεγάλο πορώδες, και μικρή έως πολύ χαμηλή συνοχή. Η αναμενόμενη τιμή της φέρουσας ικανότητας εκτιμάται χαμηλή, ενώ αυτή του συντελεστή υδροπερατότητας υψηλή($k=10^{-1}$-10^{-2} cm/sec). Γενικά στις θέσεις των λιμενικών εγκαταστάσεων οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται από πρόσφατες επιχωματώσεις.

Αποθέσεις κοίτης ποταμών και χειμάρρων, από αδρομερή χαλαρά έως ημισυνεκτικά υλικά, κύρια χάλικες ποικίλων διαστάσεων, άμμους, ψηφίδες, κροκάλες και αργιλοϊλυώδους σύστασης λεπτομερή υλικά. Γενικά τα αδρομερή στοιχεία που επικρατούν, είναι ασβεστολιθικής ή και κερατολιθικής προέλευσης. Σχηματισμός αυξημένης υδροπερατότητας με μικρή επιφανειακή ανάπτυξη (καλύπτει τις κοίτες των ποταμών και χειμάρρων), ενώ λόγω οικοδόμησης της περιοχής η εμφάνισή τους περιορίζεται αρκετά. Το πάχος τους κυμαίνεται ανάλογα με την τάξη του υδρογραφικού άξονα που τα φιλοξενεί, δηλαδή είναι μικρό στους χειμάρρους και σημαντικό στους ποταμούς (π.χ. Γλαύκος), όπου εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 10.0-20.0m.

Ολοκαινικές αποθέσεις, λιμνοθαλάσσιας πιθανότατα προέλευσης από καστανοπράσινα αργιλοϊλυώδους σύστασης υλικά με μικρό ποσοστό άμμου και ελάχιστες ψηφίδες. Σχηματισμός κορεσμένος, μέτριας συμπιεστότητας, χαμηλής φέρουσας ικανότητας και μειωμένων γεωμηχανικών χαρακτηριστικών, που απαιτεί βελτιώσεις για οικιστική ανάπτυξη και τοπικά έχει καλύψει ερείπια αρχαίων κτισμάτων λόγω βύθισης της περιοχής ανάπτυξής τους. Το ορατό πάχος των αποθέσεων αυτών εκτιμάται της τάξεως των 2-3m, το πραγματικό φαίνεται να υπερβαίνει τα 12m, ενώ σε μερικές περιπτώσεις φθάνει τα 80m

Μανδύας αποσάθρωσης και μάζες νεογενών ιζημάτων, που εμφανίζονται μετακινημένες, πιθανόν λόγω μεταθετικών ολισθήσεων. Ο μανδύας αποτελείται από αργιλοϊλυώδη-αμμοϊλυώδη υλικά τεφροκίτρινου χρώματος, άμμο και μικρά θραύσματα μαργαϊκής και ψαμμιτικής σύστασης, με αραιές ψηφίδες και χάλικες. Οι ολισθημένες μάζες των νεογενών είναι αργιλομαργαϊκής ή και αμμώδους κυρίως προέλευσης που είχαν αρχικά ποικίλο βαθμό διαγένεσης αλλά στη σημερινή τους θέση εμφανίζονται χαλαρωμένες και με υποβαθμισμένα τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά τους, λόγω μετακίνησης.

Γενικά ο μικτός σχηματισμός τους με τα υλικά του μανδύα είναι επιδεκτικός στην εκδήλωση αστοχιών με τη μορφή περιστροφικών ολισθήσεων, ερπυσμών ή και εδαφικών ροών, γεγονός που απαιτεί την προσεκτική διαχείρησή τους για οικιστικές ή λοιπές τεχνικές δραστηριότητες. Το πάχος του μικτού αυτού σχηματισμού κυμαίνεται από 1-3m στις θέσεις παρουσίας καθαρού μανδύα αποσάθρωσης έως 15-20m, σε θέσεις με αυξημένη την παρουσία των ολισθημένων μαζών.

Αλλουβιακές αποθέσεις: σύγχρονες προσχώσεις ή και αποθέσεις κοιλάδων καστανού χρώματος, που παρουσιάζουν εκτεταμένη επιφανειακή ανάπτυξη στο πεδινό τμήμα της περιοχής και συνίστανται από αργιλοϊλυώδη υλικά, πηλούς, άμμους λεπτόκοκκες έως μεσόκοκκες, ψηφίδες και χάλικες με ποσοστά που κυμαίνονται από θέση σε θέση. Γενικά παρουσιάζουν ταχείες μεταβολές της λιθολογικής σύστασης, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφο ανάπτυξη, γεγονός που προσδίδει έντονη ετερογένεια και ανομοιόμορφη γεωμηχανική συμπεριφορά. Πρόκειται για χαλαρό έως ημισυνεκτικό σχηματισμό που χαρακτηρίζεται από χαμηλή έως μέση πλαστικότητα και χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα, ενώ συνήθως αναπτύσσει υδροφόρο ορίζοντα με συχνές διακυμάνσεις στη στάθμη του. Η έντονη ετερογένεια και η επακόλουθη ευρεία κύμανση των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών του σχηματισμού σε συνδυασμό με την ενεργό τεκτονική και την ανθρώπινη δραστηριότητα (υπεραντλήσεις Διακονιάρη–Γλαύκου), οδηγούν στην εκδήλωση αστοχιών είτε με τη μορφή τοπικών εδαφικών υποχωρήσεων (φαινόμενα απόπλυσης και εσωτερικής διάβρωσης), είτε με τη μορφή ευρέων καθιζήσεων της τάξης των 0.5m (περιοχή εργοστασίου Πειραϊκής–Πατραϊκής και παράλια ζώνη). Τέλος, το πάχος των αποθέσεων αυτών κυμαίνεται στη ευρύτερη περιοχή από 5-80 m.

Διλουβιακές αποθέσεις ριπιδίων: Εντοπίζονται στα άκρα της περιοχής που χαρτογραφήθηκε(Περιοχές Χάραδρου από ανατολικά, Διακονιάρη και Γλαύκου από δυτικά) και αποτελούνται από μικτές φάσεις κροκαλών – χαλίκων, ψηφίδων και λεπτομερών. Τα τελευταία, που είναι αργιλοϊλύες με άμμους, έχουν μικρό ποσοστό και παρουσιάζουν χαμηλή πλαστικότητα και μέτρια συνεκτικότητα. Οι κροκάλες και οι χάλικες που παρουσιάζονται συνήθως καλά αποστρογγυλευμένες, είναι κύρια ασβεστολιθικής και σπανιότερα κερατολιθικής

προέλευσης, ενώ το μέγεθός τους φθάνει τα 15cm ή και κατά θέσεις τα 20cm. Στους ανώτερους ορίζοντες και τουλάχιστον επιφανειακά επικρατούν τα αδρομερή στοιχεία(χάλικες - κροκάλες), ενώ η συνολική γεωμηχανική συμπεριφορά τους ελέγχεται κύρια από τη διαβάθμιση και διευθέτηση των λιθολογικών μονάδων, καθώς και τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των λεπτόκοκκων, που σε άλλες θέσεις κατανέμονται ομοιόμορφα με τα αδρομερή, ενώ αλλού ταξινομούνται σε διακριτούς ορίζοντες, πάχους 4-8m. Τέλος, συχνές αποσφηνώσεις των οριζόντων αυτών σημειώνονται κατά την οριζόντια και κατακόρυφο. Στο σύνολό του ο σχηματισμός εμφανίζει οριζόντια ψευδοστρώση, στοιχείο που δικαιολογεί και τη συνεκτικότητά του, αλλά και τη μειωμένη υδροπερατότητά του σε βάθος (περατός επιφανειακά, ημιπερατός στο βάθος, k μέχρι 10^{-4} cm/sec). Το πάχος τους είναι σημαντικό και κυμαίνεται από 6m μέχρι μερικές δεκάδες μέτρων (>60m).

Πίνακας 1. Εύρη τιμών των κύριων φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των λιθολογικών τύπων που διακρίθηκαν στην περιοχή της πόλης των Πατρών.

Table 1. Ranges of values of the main physicomechanical characteristics of the lithological types which were distinguished in Patras city wider area.

	Όριο Υδαρότητας (LL, %)	Υγρό Φαιν. Βάρος (γ_b, gr/cm)	Φυσική Υγρασία (wc, %)	Ανεμπόδ. θλίψη (q_u Kg/cm^2)	Δείκτης συμπ/τας (C_c)	Συνοχή (c Kg/cm^2)	Γωνία τριβής (φ, ^{0})
Πρόσφατες επιχωματώσεις							
Ιστορικές& νεότερες επιχωματώσεις							
Τεναγώδεις απόθέσεις	33-53	1.6-2.1	26-54	0.25-0.35	0.250-0.720	0.06-0.35	4^0-29^0
Παράκτιες άμμοι		2.0-2.2				0.00-0.02	28^0-30^0
Αποθέσεις κοίτης ποταμών & χειμάρρων	17-30	2.0-2.4	10-15	0.30-2.50	0.100-0.250	0.00-1.00	24^0-49^0
Ολοκαινικές αποθέσεις	25-52	1.5-2.0	18-40	0.20-2.70	0.140-0.450	0.28-0.58	8^0-25^0
Μανδύας αποσάθρωσης & ολισθημένες μάζες πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων	24-49	1.8-2.1	18-25	0.35-2.50	0.125-0.135	0.75-1.50	3^0-28^0
Αλλουβιακές αποθέσεις	16-50	1.9-2.4	8-32	0.22-3.92	0.080-0.290	0.10-1.55	13^0-35^0
Διλουβιακές αποθέσεις ριπιδίων	18-28	2.0-2.1	20-25	0.25-3.50	0.050-0.147	0.35-0.50	6^0-47^0
Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί	17-54	2.0-2.5	11-44	0.25-6.75	0.080-0.180	0.41-9.50	6^0-47^0
Πλειοκαινικά ιζήματα	26-62	1.9-2.2	17-42	0.88-6.64	0.010-0.267	0.05-1.80	2^0-24^0

Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί: Αποτελούνται από ερυθροκάστανες έως τεφροκάστανες ή και κιτρινοκάστανες αμμοϊλύες με άργιλο και φακοειδείς παρεμβολές αδρομερών στοιχείων (ψηφίδες, χάλικες, κροκάλες). Συνήθως εμφανίζονται με μέτρια έως χαμηλή συνεκτικότητα και μόνο κατά θέσεις (στις υψηλότερες μορφολογικά περιοχές, όπως στην περιοχή του Γηροκομείου) οι αδρομερείς φάσεις επικρατούν και αποκτούν ισχυρή συγκόλληση, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται με τη μορφή συνεκτικών έως πολύ συνεκτικών κροκαλοπαγών πάγκων με κυμαινόμενο αλλά γενικά σημαντικό πάχος (4-10m). Γενικά πρόκειται για παλαιά χερσαία ή και ποταμοχερσαία υλικά, που στις περιοχές με ήπια κλίση αναπτύσσουν παχύ σχετικά μανδύα αποσάθρωσης από

ερυθρά αργιλοϊλυώδη υλικά, καθώς και χάλικες–κροκάλες. Το πάχος τους εκτιμάται από 8-40m και τοπικά μεγαλύτερο των 100m.

Πλειοκαινικά ιζήματα: Πρόκειται για ποταμολιμναία, λιμναία, λιμνοθαλάσσια και σπανιότερα θαλάσσια ιζήματα από αργιλομάργες, μάργες, άμμους λεπτόκοκκες έως μεσόκοκκες και με ποικίλο βαθμό διαγένεσης ή και οριζοντες από μικτές φάσεις αυτών. Ακόμα στους ανώτερους οριζοντες, όπως στην περιοχή του Ασύρματου, του Κάστρου ή και των Συχαινών, συμμετέχουν ενστρώσεις ή και φακοί κροκαλοπαγών πάχους μέχρι 5m, ενώ στους υποκείμενους οριζοντες απαντούν διάσπαρτες κροκάλες ή και χάλικες σε ποσοστά που μειώνονται με το βάθος. Στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται σαν ευαποσάθρωτοι σχηματισμοί, μέτρια συνεκτικοί ή και συνεκτικοί σπανιότερα, με χαμηλό συντελεστή υδροπερατότητας ($k=10^{-2}$–10^{-4} cm/sec). Γενικά οι λιθολογικές, γεωτεχνικές, υδρογεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, όπως περιστροφικών ολισθήσεων, ερπυσμών και εδαφικών ροών, κυρίως στις θέσεις συνδυασμού του δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών, σε σχέση με τη γεωμετρία των πρανών και τυχόν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Το πάχος τους εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 400m.

Τα εύρη κύμανσης των τιμών για κύρια φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά, των λιθολογικών τύπων που διακρίθηκαν, δίνονται στον Πίνακα 1.

4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΩΝ ΠΑΤΡΩΝ

Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των υπεδαφικών συνθηκών στην περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος των Πατρών εκτελέστηκε εκτεταμένη γεωτεχνική έρευνα με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και πενετρομετρήσεις, έτσι ώστε να εξαχθούν πλήρη συμπεράσματα για το είδος των σχηματισμών, τη φυσική τους κατάσταση αλλά και τη γεωμηχανική τους συμπεριφορά (Κούκης κ.α. 1994, 1997, Τσιαμπάος κ.α., 1997).

Πίνακας 2. Γεωτεχνικές ενότητες που διακρίθηκαν στη στενή περιοχή της πόλης των Πατρών.
Table 2.Geotechnical unities which were distinguished in the narrow site of Patras city.

Ενότητα	Υποενότητα	Περιγραφή	Μέγ. Πάχος (m)	Μηχανικές Παράμετροι
		Επιχωματώσεις-πρόσφατα υλικά	>8	
I		**Παράκτια, τεφρή ιλύς και μαλακή άργιλος (CL) με ενστρώσεις άμμου και χαλικιών (GW-GM, GC).**	35 (ξηρά) >50 (θάλασσα)	N_{SPT}:2-28 (γενικά<10) c_u:24-80 kPa C_c:0.111-0.261 e_o:0.641-1.028 V_s:120-230 m/s
II		**Μικτές φάσεις αλλουβιακών και διλουβιακών αποθέσεων**	50	
	IIa	Καστανή-καστανότεφρη άργιλος (CL, CH) και ιλύς (ML, ML-CL) με ενστρώσεις ιλυώδους άμμου (SM, SM-SC)		N_{SPT}:4->50 q_u:22-1194kPa (γενικά<400kPa) c_u:14-203kPa C_c:0.087-0.220 e_o:0.387-0.870 V_s:200-650m/s
	IIb	Ιλύες (SM, SC) και αμμοχάλικα (GM, GP-GM, GW-GM, GW-GC)		V_s:300-700m/s
	IIc	Ελώδεις αποθέσεις τεφρής αργίλου με οργανικά (CL), και ιλύος (ML, ML-CL)		N_{SPT}:4-50 c_u:28-80kPa C_c:0.120-0.344
III		**Μικτές φάσεις πλειστοκαινικών αποθέσεων**	> 90	
	IIIa	Καστανότεφρες ιλύες (ML), και άργιλοι (CL, CH)με ενστρώσεις άμμων (SP) και αργιλωδών άμμων (SC, SM, SM-SC).		N_{SPT}:8->50 q_u:23-450kPa c_u:17-240kPa C_c:0.050-0.287 e_o:0.560-0.976 V_s:200-520m/s
	IIIb	Ιλυώδεις άμμοι (SM) και χαλίκια (GM), GP-GM)		
IV		**Μαργαϊκό Υπόβαθρο Τεφρές-καστανότεφρες αργιλικές μάργες (CL, CH, CL-ML)**	>300	N_{SPT}:20->50 q_u:100-350kPa V_s:220-460m/s

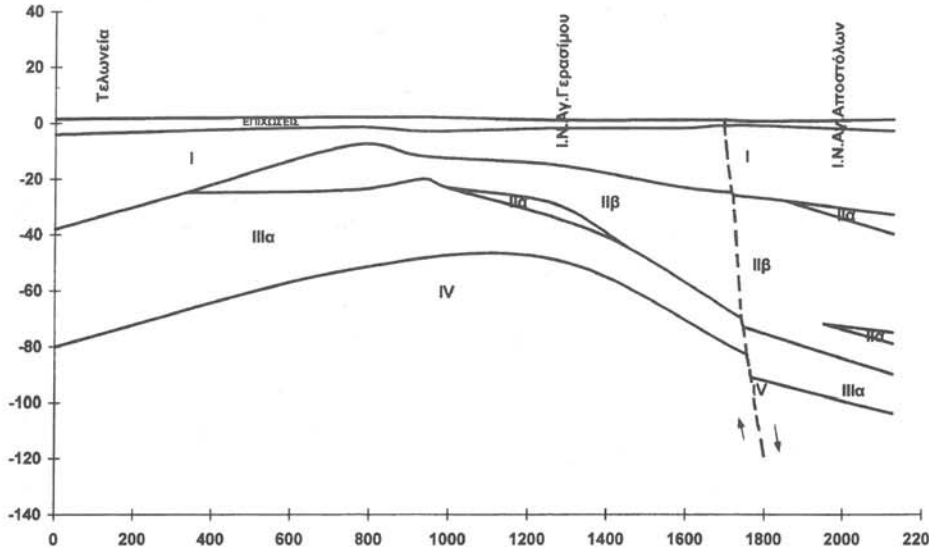
Από τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής διαπιστώθηκε ότι στο χώρο του πολεοδομικού συγκροτήματος των Πατρών, διακρίνονται τέσσερις (4) γεωτεχνικές ενότητες που φαίνονται στον Πίνακα 2. Στον Πίνακα αυτόν δίνονται στοιχεία σχετικά με την περιγραφή, το πάχος και το εύρος των μηχανικών παραμέτρων των παραπάνω ενοτήτων, αλλά και των υποενοτήτων που μερικές από αυτές διαχωρίζονται.

Η στρωματογραφική διάταξη των ενοτήτων αυτών παρουσιάζει διακυμάνσεις σε πάχος που φθάνουν ακόμα και σε αποσφηνώσεις. Ενδεικτικά και για πληρέστερη εικόνα ως προς τη στρωματογραφική διάρθρωση των γεωτεχνικών ενοτήτων, δίνεται μια γεωτεχνική τομή κατά μήκος της παραλιακής ζώνης της πόλης (Σχήμα 3).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις παραπάνω αναφορές, στην ευρύτερη περιοχή αλλά και στο χώρο του πολεοδομικού συγκροτήματος της πόλης της Πάτρας, διαπιστώνεται η παρουσία λιθολογικών τύπων και γεωτεχνικών ενοτήτων αντίστοιχα, για τις οποίες προσδιορίζονται η στρωματογραφική διάρθρωση, η φυσική κατάσταση και το εύρος κύμανσης των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών.

Τα στοιχεία αυτά αποτελούν τη βάση για οποιονδήποτε σχεδιασμό, στο πλαίσιο της ορθολογικής ανάπτυξης και της σωστής εκτέλεσης των διαφόρων τεχνικών έργων.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστική γεωτεχνική τομή κατά μήκος της παραλιακής ζώνης της πόλης.
Figure 3. Characteristic geotechnical cross-section along the coastal zone of Patras city.

6 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστίες εκφράζονται στον κο Νικ. Κατριβέση Τεχνικό Γεωλόγο και Μεταπτυχιακό Ερευνητή στο Πανεπιστήμιο Πατρών - Τεχνική Γεωλογία, για την εκτύπωση του τεχνικογεωλογικού χάρτη με τη χρήση GIS.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

KOUKIS, G. 1988. *Slope deformation phenomena related to the engineering geological conditions in Greece.* Proc.5th Int. Symp. on Landslides, Vol.2, 1187-1192, Laussanne. Balkema Publ.. Rotterdam.

KOUKIS, G. & ROZOS, D. 1982. *Geotechnical conditions and landslide movements in the Greek territory, in relation with its geological structure and its geotectonic evolution. Mineral Wealth*, vol.16, 53-69. Athens.

ΚΟΥΚΗΣ Γ., ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ Γ., ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ Ν. (1994): *Τεχνικογεωλογικές – Γεωτεχνικές συνθήκες της πόλης των Πατρών*. Δελτίο ΚΕΔΕ, 121-124, 3-23. Αθήνα.

ΚΟΥΚΗΣ Γ., ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ Γ., ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ Ν. (1997): *Συσχετισμοί μηχανικών χαρακτηριστικών και ταξινόμηση εδαφικών σχηματισμών της πόλης των Πατρών. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχ. Μηχανικής*, Τομ. 1 137-144, Πάτρα.

KOUKIS G., ROZOS D., HADZINAKOS I.(1997): *Relationship between rainfall and landslides in the forma-*

tions of Achaia county, Greece. Proc. of Inter. Symp. of I.A.E.G., Vol 1, 793-798, Athens, Greece.
ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β., ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Εκδόσεις Ζήτη, 356 σελίδες, Θεσσαλονίκη.
ΡΟΖΟΣ Δ., (1989): *Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας – Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων*. Διδακτορική διατριβή, 453 σελίδες, έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
TSIAMBAOS G., SABATACAKIS N., KOUKIS G.(1997): *Engineering geological environment and urban planning of the city of Patras, Greece*. Proc. of Inter. Symp. of I.A.E.G., Vol. 2, 1527-1534, Athens, Greece.
ΤΣΟΦΛΙΑΣ Π.,(1980): *Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος, 1/50.000, φύλλο Πάτραι*, Ι.Γ.Μ.Ε.. Αθήνα.
Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.- Ο.Α.Σ.Π. (2000): *Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός (Ε.Α.Κ.-2000)*, 152 σελίδες, Αθήνα.
UNESCO / IAEG, 1976. *Engineering geological maps*. A guide to their preparation, The UNESCO Press, Paris, 79 p.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1689-1695, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1689-1695, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

CORRELATIONS BETWEEN PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF ROCKS IN THE GREEK TERRITORY

Γ. ΚΟΥΚΗΣ[1], Ν. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ[2], Γ. ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ[2], Χ. ΜΠΟΥΡΟΥΝΗΣ[2]

ΣΥΝΟΨΗ

Ένας σημαντικός αριθμός φυσικών και μηχανικών παραμέτρων όπως προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές σε δείγματα διαφόρων πετρωμάτων του Ελληνικού χώρου, καταχωρήθηκαν σε μια ειδικά σχεδιασμένη βάση δεδομένων. Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της βάσης επέτρεψε τη διατύπωση εμπειρικών σχέσεων μεταξύ των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων, αρκετές από τις οποίες παρουσιάζουν ικανοποιητικούς συντελεστές συσχέτισης. Ο σημαντικός αριθμός των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν συντελεί θετικά στην αυξημένη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

ABSTRACT

A significant number of physical and mechanical parameters derived by laboratory testing on samples of different rock types from the Greek territory have been registered in a specially designed data base. The statistical analysis of the data base enabled the expression of the empirical correlations between the physical and mechanical characteristics of the rocks, many of which present sufficient correlation coefficients. The significant number of the used data contributes to an increased reliability of the concluding results.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φυσικά χαρακτηριστικά, μηχανικά χαρακτηριστικά, ακέραιο πέτρωμα, Ελληνικός χώρος.
KEY WORDS: Physical characteristics, mechanical characteristics, intact rock, Greek territory.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συσχετισμός μεταξύ φυσικών και μηχανικών παραμέτρων του ακέραιου πετρώματος έχει, μεταξύ άλλων, ως σκοπό και τον προσδιορισμό μιας παραμέτρου από άλλη, της οποίας η τιμή είναι πιο εύκολο να υπολογισθεί με απλές και γρήγορες εργαστηριακές δοκιμές. Τέτοιες σχέσεις, είναι δυνατόν να δώσουν προσεγγιστική πληροφόρηση (αρχική εκτίμηση, προσδιορισμός τάξης μεγέθους) για μια παράμετρο, αλλά και να βοηθήσουν στην κατανόηση σχετικά με το βαθμό και τον τρόπο αλληλεξάρτησης τους.

Προς την κατεύθυνση αυτή, συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών που έχουν πραγματοποιηθεί στο Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.(Κ.Ε.Δ.Ε.), από το 1983 μέχρι και το τέλος του 1996, για τη δημιουργία μιας βάσης εργαστηριακών δεδομένων βραχομηχανικής, η οποία αναφέρεται αποκλειστικά σε πετρώματα του Ελληνικού χώρου.

Το γεγονός ότι τα στοιχεία προέρχονται από το ίδιο εργαστήριο και οι δοκιμές εκτελέστηκαν από το ίδιο έμπειρο και καταρτισμένο προσωπικό, με βάση τις διεθνείς προδιαγραφές, συμβάλλει στην ομοιομορφία των δεδομένων και την αποφυγή λαθών και υποκειμενικών εκτιμήσεων. Τα δεδομένα που καταχωρήθηκαν στη βάση αναφέρονται σε πετρώματα ποικίλης λιθολογικής σύστασης και διαφορετικής πετρογενετικής προέλευσης, καλύπτοντας έτσι ένα μεγάλο μέρος των πετρωμάτων που συναντώνται στον Ελληνικό χώρο.

2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Η βάση αυτή σχεδιάστηκε στο λογισμικό πακέτο Excel 97 της Microsoft Office και σε περιβάλλον Windows 98. Από το αρχείο του εργαστηρίου βραχομηχανικής του Κ.Ε.Δ.Ε. καταχωρήθηκαν 4438 στοιχεία, τα οποία αναφέρονται σε αντίστοιχο αριθμό δοκιμίων(δειγμάτων) που έχουν υποβληθεί σε μία ή περισσότερες δοκιμές για τον προσδιορισμό φυσικών ή/και μηχανικών παραμέτρων. Από τα δοκίμια αυτά 1483(33.4%) αναφέρονται

1. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Πανεπιστημίου Πατρών, Ρίο 26500 ΠΑΤΡΑ.
2. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Πατησίων 42, 10682 ΑΘΗΝΑ.

σε ασβεστόλιθους, 873(19.7%) σε δολομιτικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, κατά κύριο λόγο, 612(13.8%) σε ψαμμίτες, 502(11.3%) σε κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, 413(9.3%) σε μεταμορφωμένα πετρώματα, κυρίως γνεύσιους και σχιστόλιθους, 281(6.3%) σε αργιλικά, μαργαϊκά, ιλυολιθικά πετρώματα και τέλος 273(6.2%) σε πυριγενή πετρώματα.

3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Από μια πρώτη και απλή στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της βάσης εργαστηριακών δεδομένων για το σύνολο των πετρωμάτων προέκυψε ο Πίνακας 1, όπου φαίνεται το πλήθος, καθώς και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές για τα κυριότερα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του ακέραιου πετρώματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που εξετάστηκαν
TABLE 1 Physical and mechanical parameters of tested rocks

	ΠΛΗΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙ ΜΗ
Ξηρή πυκνότητα d(kN/m^3)	1188	29.4	14.0
Πορώδες n(%)	99	42.0	0.46
Αριθμός αναπηδήσεων σφυριού Schmidt SHV	584	59.0	10.0
Δείκτης σημειακής φόρτισης Is_{50} (MPa)	3392	13.1	0.11
Εφελκυστική αντοχή σ_t (MPa)	215	20.4	0.2
Μοναξονική αντοχή σ_c (MPa)	968	254.0	0.7
Μέτρο ελαστικότητας E(GPa)	169	177.4	1.7
Λόγος Poisson ν	104	0.85	0.006
Δείκτης χαλάρωσης I_{d2} (%)	124	99.5	0.22
Συνοχή ασυνεχειών c(kPa)	50	144	0
Γωνία τριβής ασυνεχειών φ(°)	53	51	23
Ταχύτητα επιμήκων κυμάτων V_p(m/sec)	246	7908.0	1716.0
Ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων V_s (m/sec)	207	3954.02	1125.5
Μέτρο ελαστικότητας(δυναμικό) E_D(GPa)	105	99.45	5.3
Λόγος Poisson (δυναμικός)ν_D	105	0.356	0.003
Μέτρο διάτμησης(δυναμικό)G_D(GPa)	68	37.59	2.1

4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

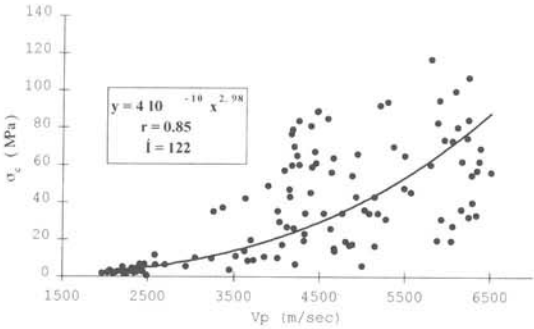
Η συσχέτιση των παραμέτρων του ακέραιου πετρώματος έγινε με βάση το παραπάνω λογισμικό πακέτο και οι σχέσεις που εξετάσθηκαν ήταν γραμμικές, λογαριθμικές και εκθετικές. Οι ακραίες τιμές δε συμπεριελήφθησαν στη συσχέτιση, χωρίς όμως το σύνολο των τιμών αυτών να ξεπερνά το 10% των συσχετιζόμενων τιμών. Θα πρέπει να τονισθεί ότι στο σύνολό τους οι δοκιμές που καταγράφηκαν στη βάση έχουν γίνει σε δοκίμια που είχαν προηγουμένως ξηραθεί στον αέρα.

Σε κάθε περίπτωση συσχέτισης σχεδιάσθηκε το αντίστοιχο διάγραμμα στο οποίο συμπληρωματικά παρουσιάζονται :

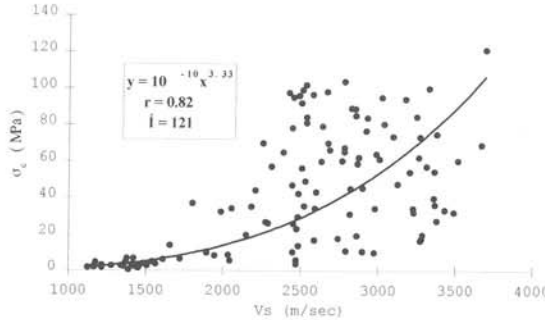
- η εξίσωση της συσχέτισης
- ο αριθμός των σημείων N (ζεύγη τιμών), το οποίο σε κάθε περίπτωση είναι μεγαλύτερο του 25
- ο συντελεστής συσχέτισης r, ο οποίος είναι πάντοτε μεγαλύτερος του 0.80, έτσι ώστε οι συσχετίσεις που παρουσιάζονται να μπορούν να θεωρηθούν αποδεκτές. Εάν κάποιες συσχετίσεις παρουσιάζουν καλούς συντελεστές συσχέτισης για δυο ή τρεις μορφές σχέσεων τότε σχεδιάζονται όλες, δίνεται όμως μεγαλύτερη βαρύτητα στην γραμμική λόγω της ευκολίας εφαρμογής της.

4.1 Μονοαξονική αντοχή, σc και ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων (επιμηκών Vp, εγκαρσίων Vs).

Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται από το είδος του πετρώματος, την παρουσία κενών ή ρωγμών και γενικά την ποιότητα του δείγματος η οποία αναφέρεται στην αντοχή του. Οι D' Andrea et al. (1965), δίνουν σc = 0.039 Vp - 48.13 (r = 0.71), ενώ καλές εκθετικές συσχετίσεις μεταξύ της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (σc) και της ταχύτητας των ηχητικών κυμάτων έχουν κατά καιρούς δημοσιευθεί από πολλούς ερευνητές.

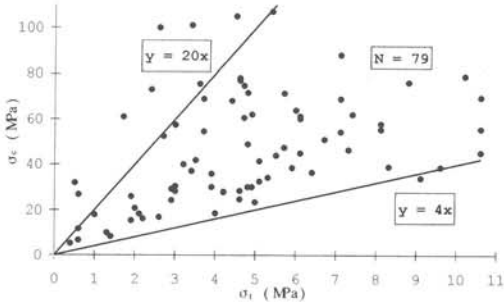


Σχήμα 1. Συσχέτιση σc και Vp
Figure 1. Correlation between σc and Vp

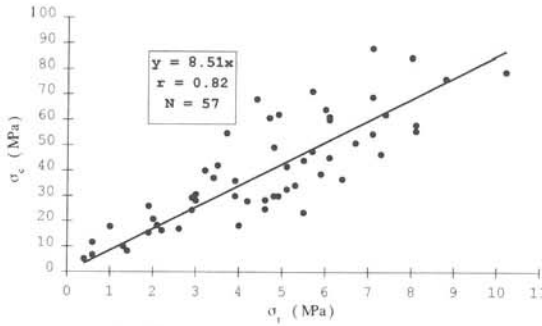


Σχήμα 2. Συσχέτιση σc και Vs
Figure 2. Correlation between σc and Vs

Από την επεξεργασία που έγινε και περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων εκτιμήθηκαν εκθετικές συναρτήσεις σc = 4 10-10 Vp2.9837 για 122 σημεία με r = 0.85 (Σχήμα 1) και σc =10-10 Vs3.328 για 121 σημεία με r = 0.82 (Σχήμα 2).



Σχήμα 3. Συσχέτιση σ_c και σ_t
Figure 3. Correlation between σ_c and σ_t



Σχήμα 2. Συσχέτιση σ_c και Vs
Figure 2. Correlation between σ_c and Vs

4.2 Μονοαξονική αντοχή, σc και εφελκυστική αντοχή, σt.

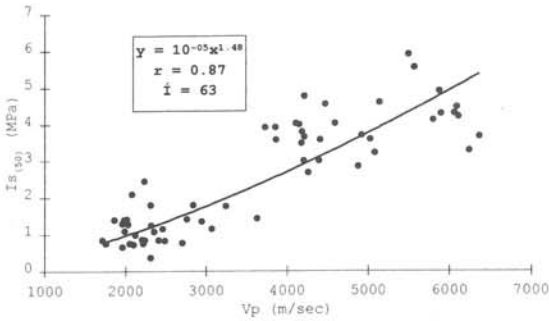
Για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο οι Marinos et al. (1994) προσδιόρισαν τα όρια κύμανσης της μοναξονικής και εφελκυστικής αντοχής μεταξύ 4 σc < σt < 13σc.

Από τη συσχέτιση των δυο παραμέτρων για όλα τα είδη των πετρωμάτων τα όρια διαμορφώνονται σε 4 σt < σc < 20 σt (Σχήμα 3). Αν περιορίσουμε τις τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη σc μέχρι τα 90 MPa και απομακρύνουμε τις ακραίες τιμές προκύπτει ότι σc = 8.51 σt με συντελεστή συσχέτισης r = 0.82 (Σχήμα 4).

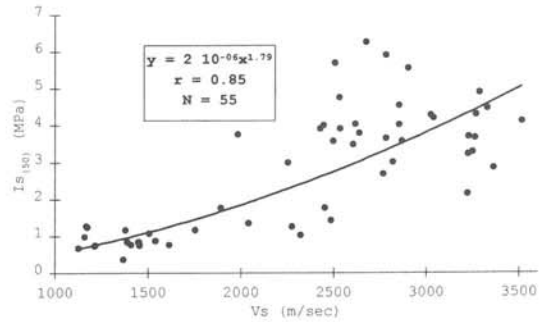
4.3 Δείκτης σημειακής φόρτισης Is(50) και ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων.

Οι Wakes and Mellor (1978), δίνουν πολύ καλές γραμμικές συσχετίσεις των δύο παραμέτρων για γρανίτες. Αντίστοιχα οι Koukis και Sabatakakis (1991) για δολομιτικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους δίνουν Vp = 1561.2 + 292 Is(50), ενώ οι Irfan και Dearman (1978), για εξαλλοιωμένους γρανίτες βρήκαν Is(50) = 1.76 10-7 Vp2.095 (r = 0.99) και Is(50) = 2.29 10-3 Vp-2.316 (r = 0.96).

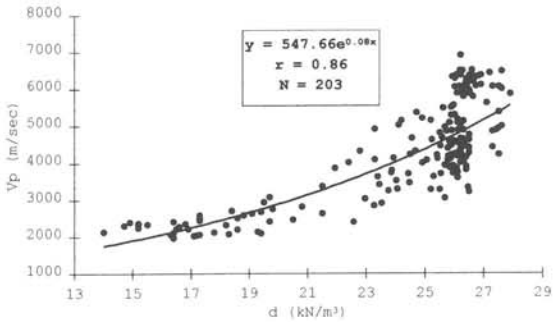
Από τη συσχέτιση των δυο αυτών παραμέτρων προέκυψαν για το σύνολο των δειγμάτων των πετρωμάτων



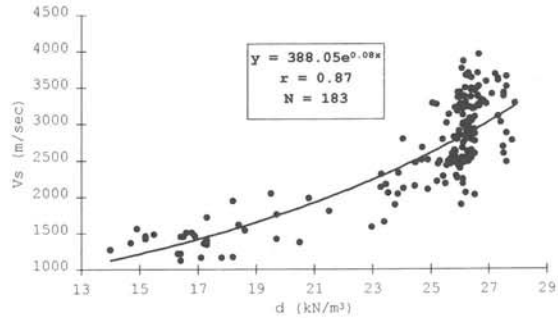
Σχήμα 5. Συσχέτιση Is(50) και Vp
Figure 5. Correlation between Is(50) and Vp



Σχήμα 6. Συσχέτιση Is(50) και Vs
Figure 6. Correlation between Is(50) and Vs



Σχήμα 7. Συσχέτιση Vp και d
Figure 7. Correlation between Vp and d



Σχήμα 8. Συσχέτιση Vs και d
Figure 8. Correlation between Vs and d

εκθετικές σχέσεις. Τα επιμήκη κύματα δίνουν για 63 τιμές Is(50) = 10-5 Vp1.48 με συντελεστή συσχέτισης r = 0.87 (Σχήμα 5) και για τα εγκάρσια κύματα Is(50) = 2 10-6 Vs1.79 με N = 55 και r = 0.85 (Σχήμα 6).

4.4 Ξηρή πυκνότητα, d και ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων.

Γενικά με την αύξηση της πυκνότητας αυξάνεται και η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων. Οι Irfan και Dearman (1978), δίνουν για εξαλλοιωμένους γρανίτες d = 0.8428 Vp0.133 (r = 0.99). Εκθετικές συσχετίσεις έχουν προσδιορίσει και οι Koukis et al. (1998) για τους ασβεστόλιθους του Ελληνικού χώρου.

Η επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν από τη βάση εργαστηριακών δεδομένων για το σύνολο των πετρωμάτων δίνουν εκθετικές συναρτήσεις, οι οποίες είναι για τα επιμήκη κύματα Vp = 547.66e0.08d με N = 203 και r = 0.86 (Σχήμα 7) και για τα εγκάρσια κύματα Vs = 388.05e0.08d με N = 183 και r = 0.87 (Σχήμα 8).

4.5 Ξηρή πυκνότητα, d και πορώδες, n.

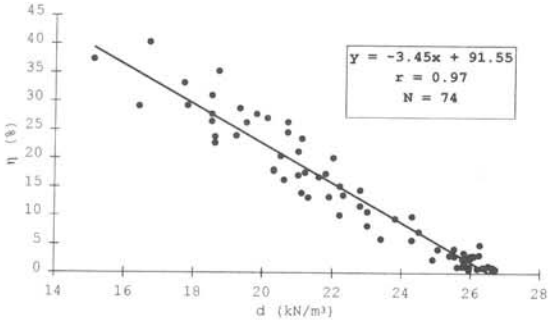
Γενικά η αύξηση της πυκνότητας συνοδεύεται από γραμμική μείωση του πορώδους. Οι Koukis και Sabatakakis (1991), δίνουν για δολομιτικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, n(%) = 90.3 - 3.44 d(KN/m2) (r = 0.81).

Τα στοιχεία που προέκυψαν από τη βάση εργαστηριακών δεδομένων για το σύνολο των πετρωμάτων δίνουν μια γραμμική συσχέτιση n(%) = 91.55 -3.45d(KN/m2) με 74 σημεία και συντελεστή συσχέτισης r = 0.97 (Σχήμα 9).

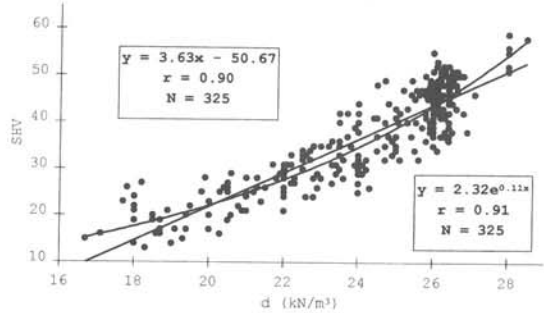
4.6 Ξηρή πυκνότητα, d και αριθμός αναπηδήσεων σφυριού Schmidt, SHV.

Ο μέσος όρος των κρούσεων με σφυρί Schmidt αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της πυκνότητας. Οι Koukis και Sabatakakis (1991) δίνουν για δολομιτικό και μαργαϊκό ασβεστόλιθο SHV = 3.2 d - 43 (r = 0.88), ενώ παρόμοια συσχέτιση για τους ασβεστόλιθους δίνουν οι Koukis et al. (1998).

Από την επεξεργασία των στοιχείων βρέθηκαν 325 ζεύγη τιμών και προέκυψαν, μια καλή γραμμική SHV =



Σχήμα 9. Συσχέτιση n και d
Figure 9. Correlation between n and d



Σχήμα 10. Συσχέτιση SHV και d
Figure 10.Correlation between SHV and d

3.63d(KN/m2) - 50.67 με r = 0.90, αλλά και μια εκθετική με λίγο καλύτερο συντελεστή συσχέτισης r = 0.91 η οποία είναι SHV = 2.32e0.11d (Σχήμα 10).

4.7 Πορώδες, n και δείκτης χαλάρωσης, Id2.

Από την βιβλιογραφία δίνονται συνήθως γραμμικές συσχετίσεις για τις δύο αυτές παραμέτρους. Οι Sabatakakis et al. (1993), για μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους δίνουν Id2 = 113 - 1.1 n (r = 0.84), ενώ οι Koukis και Sabatakakis (1991) για μαργαϊκούς και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, Id2 = 108 - 0.9 n (r = 0.82).

Η γραμμική συσχέτιση που προσδιορίσθηκε από 31 ζεύγη τιμών, με r = 0.83, είναι n = 99.84 -0.90 Id2 (Σχήμα 11).

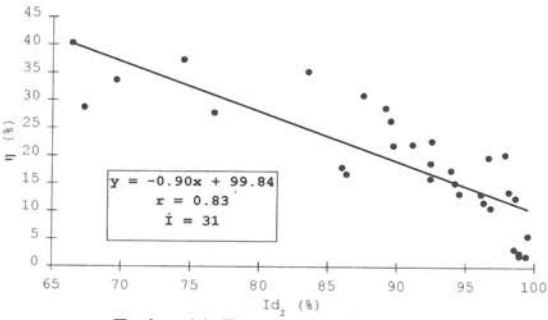
4.8 Ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων(επιμηκών Vp και εγκαρσίων Vs)και αριθμός αναπηδήσεων σφυριού Schmidt, SHV.

Η σχέση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων Vp με τους μέσους όρους από σφυρί Schmidt, (SHV) περιγράφεται από τους Sabatakakis et al. (1993), και τους Koukis και Sabatakakis (1991) για μάργες, δολομιτικούς και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, με την εξίσωση : SHV = 0.01 Vp -7.12 (r=0.88). Επίσης γραμμική σχέση δίνεται από τους Koukis et al. (1998), για την ταχύτητα διάδοσης των εγκαρσίων κυμάτων σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι Irfan και Dearman (1978) για εξαλλοιωμένους γρανίτες δίνουν : SHV =0.0099 Vp + 14.131 (r=0.99).

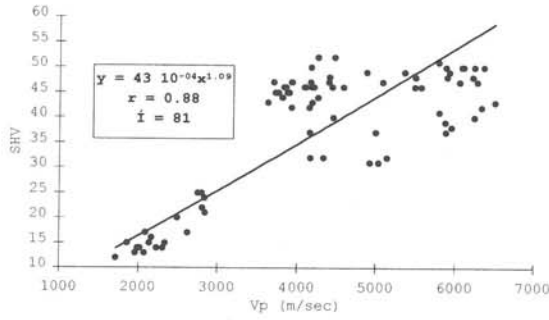
Από τα στοιχεία της βάσης εργαστηριακών δεδομένων βραχομηχανικής προέκυψε εκθετική σχέση, από 81 σημεία με συντελεστή συσχέτισης r = 0.88 και εξίσωση SHV = 43 . 10-04 Vp1.08 (Σχήμα 12).

4.9 Πορώδες, n και αριθμός αναπηδήσεων σφυριού Schmidt, SHV.

Ο μέσος όρος του αριθμού των αναπηδήσεων από σφυρί Schmidt αυξάνουν με παράλληλη μείωση του πορώδους. Σύμφωνα με τους Sabatakakis et al. (1993), για μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ισχύει η σχέση SHV = 38 - 0.8 n(%) (r = 0.87) ενώ σύμφωνα με τους Koukis και Sabatakakis (1991) για μαργαϊκούς και



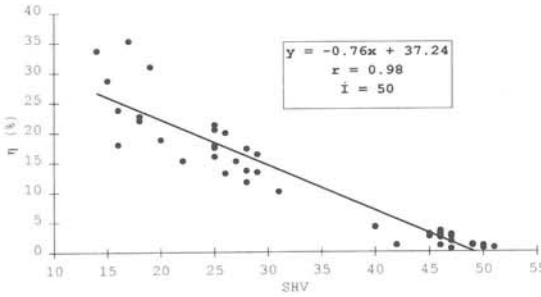
Σχήμα 11. Συσχέτιση Id2 και n
Figure 11.Correlation between Id2 and n



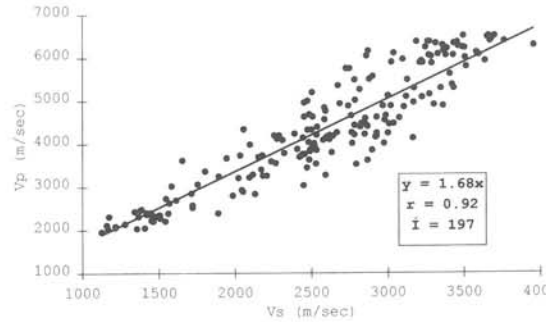
Σχήμα 12. Συσχέτιση SHV και Vp
Figure 12. Correlation between SHV and Vp

δολομιτικούς ασβεστόλιθους ισχύει η σχέση SHV = 130.5 n-0,6 (r = 0.8). Τέλος, οι Irfan και Dearman (1978), για εξαλλοιωμένο γρανίτη προτείνουν τη σχέση n(%) = 27.819 - 0.446 SHV (r = 0.98).

Ο συσχετισμός των δεδομένων έδωσε τη γραμμική σχέση n = 37.236 - 0.7569SHV για N = 50 με r = 0.95(Σχήμα 13).



Σχήμα 13. Συσχέτιση n και SHV
Figure 13.Correlation between n and SHV

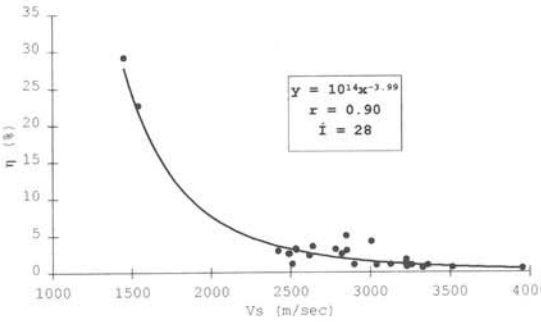


Σχήμα 14. Συσχέτιση Vp και Vs
Figure 14.Correlation between Vp and Vs

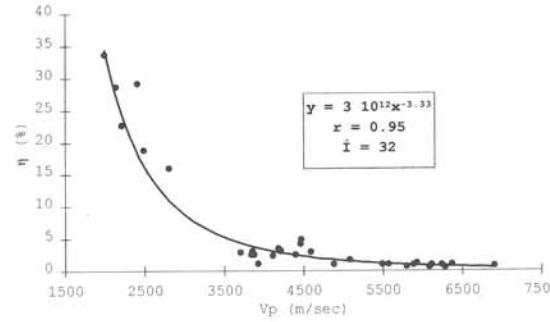
4.10 Ταχύτητα εγκαρσίων, Vs και επιμηκών κυμάτων, Vp.

Οι ταχύτητες διάδοσης των ηχητικών κυμάτων παρουσιάζουν πολύ καλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Οι Marinos et al. (1994), για τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο δίνουν : Vp = 1.51 Vs (r=0.7) και οι Sabatakakis et al. (1993), για μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους: Vp = 1.6 Vs (r=0.81).

Από τον συσχετισμό των στοιχείων προέκυψε για το σύνολο των πετρωμάτων από 197 ξεύγη τιμών η σχέση Vp = 1.68Vs με συντελεστή συσχέτισης r = 0.92 (Σχήμα 14).



Σχήμα 15. Συσχέτιση Vp και n
Figure 15. Correlation between Vp and n



Σχήμα 16. Συσχέτιση Vs και n
Figure 16. Correlation between Vs and n

4.11 Πορώδες, n και ταχύτητα διάδοσης ηχητικών κυμάτων.

Η αύξηση του πορώδους για το ίδιο πέτρωμα προκαλεί μείωση της ταχύτητας διάδοσης των ηχητικών κυμάτων μέσω αυτού. Οι Irfan και Dearman (1978), καθόρισαν για τους εξαλλοιωμένους γρανίτες τη σχέση n = 85.765 - 9.966 log Vp (r = 0.99).

Από τα στοιχεία της βάσης εργαστηριακών δεδομένων βραχομηχανικής προσδιορίσθηκαν για τα επιμήκη κύματα n = 3 .1012 Vp-3.33 με N = 32 και r = 0.95 (Σχήμα 15), ενώ για τα εγκάρσια κύματα n = 1014 14Vs-3.99 με N = 28 και r = 0.90 (Σχήμα 16).

5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

Στον Πίνακα 2 φαίνονται όλες οι συσχετίσεις που προέκυψαν από την επεξεργασία της βάσης εργαστηριακών δεδομένων βραχομηχανικής για διάφορες κατηγορίες πετρωμάτων του Ελληνικού χώρου. Εκτός από τη σχέση που συνδέει τις δυο παραμέτρους, δίνονται ο συντελεστής συσχέτισης (r) και ο αριθμός τον σημείων (N).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Συγκεντρωτικός πίνακας συσχετίσεων
TABLE 2 Summarized table of correlations

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ r	ΠΛΗΘΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ N	ΣΧΗΜΑ
$\sigma_c = 4\ 10^{-10}\ Vp^{2.98}$	0.85	122	1
$\sigma_c = 10^{-10}\ Vs^{3.33}$	0.82	121	2
$4\sigma_t < \sigma_c < 20\sigma_t$		79	3
$\sigma_c = 8.51\ \sigma_t$	0.82	57	4
$Is_{(50)} = 10^{-5}\ Vp^{1.48}$	0.87	63	5
$Is_{(50)} = 2\ 10^{-6}\ Vs^{1.79}$	0.85	55	6
$Vp = 547.66e^{0.08d}$	0.86	203	7
$Vs = 388.05e^{0.08d}$	0.87	183	8
$n = 91.55 - 3.45d$	0.97	74	9
$SHV = 2.32e^{0.11d}$	0.91	325	10
$SHV = 3.63d - 50.67$	0.90	325	10
$n = 99.84 - 0.90\ Id_2$	0.83	31	11
$SHV = 43\ 10^{-04}\ Vp^{1.08}$	0.88	81	12
$n = -0.76SHV + 37.24$	0.95	50	13
$Vp = 1.68Vs$	0.92	197	14
$n = 3\ 10^{12}\ Vp^{3.33}$	0.95	32	15
$n = 10^{14}\ Vs^{3.99}$	0.90	28	16

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω συσχετίσεις αναφέρονται στο σύνολο των επιμέρους δειγμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν όλες σχεδόν τις κύριες κατηγορίες πετρωμάτων του Ελλαδικού Χώρου, χωρίς να γίνεται διάκριση μεταξύ αυτών.

Ως εκ τούτου οι συσχετίσεις αυτές αντιπροσωπεύουν το εύρος διακύμανσης των παραμέτρων που εξετάσθηκαν, το οποίο είναι ενδεικτικό για τα πετρώματα που μελετήθηκαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

KOUKIS, G., SABATAKAKIS, N., TSIAMBAOS, G. (1998),"Geotechnical properties of Greek limestones", Proceedings of 8th International Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, Vancouver, Canada, 21 - 25 September, 2883 - 2888.

ÌARINOS P., SABATAKAKIS N., TSIAMBAOS G. (1994), "Laboratory testing aspects of Athenian Schist", Proceedings of 7th Congress of the International Association of Engineering Geology, Lisboa, Portugal, 5 - 9 Sept, Vol. 2, 975 - 981.

SABATAKAKIS N., TSIAMBAOS G., KOUKIS G.(1993), "Index properties of soft marly rocks of the Athens basin, Greece", Proceedings of the International Symposium of Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens, Vol.I, 275 - 279.

KOUKIS G., SABATAKAKIS N. (1991), "Index properties and their correlations for the marly and dolomitic limestones of Athens basin, Greece", Ορυκτός Πλούτος, Τόμος 72/1991, 27 - 33.

D' ANDREA, D.V., FISHER, R.L AND FOGELSON, D.E. (1965). "Prediction of compressive strength from other rock properties". U.S.B.M., R.I. 6702, 23p.

IRFAN, T.Y. AND DEARMAN, W.R. (1978). "Engineering classification and index properties of a weathered granite". Bull. Int. Assoc. Engng. Geol., No 17, 79 - 90.

HAWKES I., and MELLOR M.(1970). "Uniaxial testing in rock mechanics laboratories". Engng. Geol. 4, 177-285.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1697-1705, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1697-1705, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΕΛΛΑΔΑ)-ΣΚΟΠΙΩΝ (Π.Γ.Δ.Μ.)*

Κ. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ[1], Κ. ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ[2], Μ. ΛΙΟΝΗΣ[3], Γ. ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ[4]

ΣΥΝΟΨΗ

Στα πλαίσια της κατασκευής του αγωγού πετρελαίου Θεσσαλονίκης Σκοπίων, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες κατά τα έτη 1999-2000. Από την εκπόνηση των μελετών αυτών και κατά τη διάρκεια της κατασκευής του έργου προέκυψαν μια σειρά από προβλήματα γεωλογικά και γεωτεχνικά που αφορούσαν τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τη μορφολογία του εδάφους και την ευκολία διάβρωσής του, την αγωγιμότητα των εδαφικών σχηματισμών, την ευστάθεια των πρανών, τα πιθανά προβλήματα και τρόπους αντιμετώπισής τους στις διελεύσεις του αγωγού από υδάτινα ρεύματα, την παρουσία ρηξιγενών ζωνών την παρουσία υπόγειων υδάτων, σε σχέση με τη φάση κατασκευής. Η επίλυση αυτών των προβλημάτων μέσω των μελετών είναι απαραίτητο να προηγούνται της κατασκευής του έργου ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη τόσο για την ασφαλή χάραξη και κατασκευή του έργου όσο και για την μείωση του κόστους κατασκευής (αλλαγές στη χάραξη μετά την κατασκευή).

ABSTRACT

It is very important to perform integrated geological and geotechnical studies when constructing large-scale projects, such as oil-pipelines. These studies are significant, not only for the safety of the pipeline but the schedule and budget of the construction as well. It is estimated that, at least up to date, studies performed for such projects in Greece were not complete, and in any case did not face all possible problems. This happened because the specifications were not applied, the geological & geotechnical construction and safety issues were underestimated and finally because, in many cases, the contractor was responsible for performing all the relative studies. Special studies for landslides, steep slopes etc, were usually performed after the problem occurred, during or after construction, and upon request of the insurance company. The geological and geotechnical studies are performed in order to investigate: the geological formations along the pipeline route, soil conductivity for cathodic protection, ground morphology and erosion processes, slope stability, possible problems and solutions at river crossings, fault zones, shallow groundwater occurrence, special geotechnical problems (such as muddy bottoms, erosion protection, steep slopes etc,) environmental conditions and impact from the project, protection and reinstatement measures. Considering the above and that the longest part of the pipeline is constructed within FYROM, contractor increased the quality of services by employing a specialists team to supervise, and if required perform, geological and geotechnical studies.

The following were completed: a) Geological mapping and study along the pipeline route at a scale of 1:20000 for the Greek part and 1:25000 within FYROM, b) boreholes at a depth of 15 - 30m (SPT & CPT), c) "cross-hole" investigation, d) soil classification, e) "Maag" tests, f) geophysical investigation to evaluate soil conductivity, g) Special investigations at problematic areas (landslides, steep slopes, river crossings, fault zones etc). Mapping at a scale of 1:2500, 1:2000 and 1:1000depending on the required detail.

Geological formations encountered along the pipeline within Greece are (youngest to oldest): Holocene deposits, Pleistocene deposits, Neogene sediments, U. Eocene and Oligocene sediments, Triassic sediments, a tectonic zone, the metamorphic bedrock (Paleozoic), igneous rocks (granite) and the ophiolite complex. With respect to structural characteristics five major tectonic phases are predominant. Major encountered problems for the pipeline construction are the shallow water table, the Sidirocastro fault zone and the 100 watercourse crossings. However, no significant changes of the pipeline route were required since the geological and

* GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS ALONG THE CRUDE OIL PIPELINE ROUTE FROM THESSALONIKI (GREECE) TO SKOPJE (FYROM)

1. Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελ. Βενιζέλου 70, 156-71 Αθήνα
2. Συνήγορος του Πολίτη, Κ. Μέξη 5, 115-28 Αθήνα
3. Αριστοφάνους 28, 187-57 Κερατσίνι
4. Παν/μιο Αθήνας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημιούπολη, 157-84 Αθήνα

geotechnical studies were performed before construction and in many cases before pipeline routing.

For the pipeline route within FYROM the Scopia University faculty performed the majority of geological and geotechnical studies, which were executed in direct co-operation with the Greek supervision, team. Geological formations encountered along the pipeline within FYROM are (youngest to oldest): Holocene deposits, Pleistocene deposits, Pliocene lake deposits, Miocene lake deposits, U. Eocene flysch deposits and Mesozoic diabases formations. The Mesozoic formations are intensely fractured and faulted. Most active faults are covered by Quaternary or lake deposits. The seismotectonic study determined the presence of 14 active faults. Major re-routings occurred along the pipeline within FYROM since studies were performed after, or during construction activities. As a result 11 changes were required hence, re-routing was necessary for 30% of the initial pipeline route. Some of the most significant problems encountered when performing the studies were active fault zones, lack of accurate topographic maps, headword erosion phenomena, creeping and landslides, high - steep slopes, shallow groundwater and hot springs, and significant river crossings (overall 150 watercourse crossings).

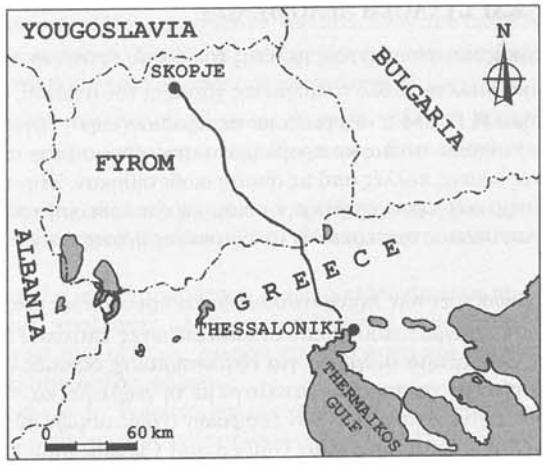
The accumulated experience dictates that: a) Geological and geotechnical studies must be completed before pipeline construction. Issues investigated should be as mentioned above. b) The referenced studies are necessary for the scheduling, cost effectiveness and safe construction of the pipeline. c) Supervision must be strict and require the application of specifications for all geotechnical activities during construction. d) Supervision is more effective when earth scientists are included (geologists geotechnical engineers etc) in the team. e) Watercourse crossings should not be backfilled during construction. Such actions were observed within FYROM and created serious problems. f) "Free spans" are often observed hence endangering pipeline integrity. A solution to this problem is placing initially the pipeline on sandbags and filling the trench with sand to at least 20 cm above the top of the pipeline. This should be a specification and the only acceptable backfill material for bottom, middle and top padding. g) The method of constructing "Rip Raps" at watercourse crossings must be modified so that water may flow through them. This will prevent "rip rap" destruction and enhance safety of pipeline h) during ROW construction the following should be applied: slopes should not be more than 2 meters high, slope gradients should not be more than 1:1, rain and underground water should be drained and transferred at least 100m away from pipeline routing.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τεχνική γεωλογία, αγωγός πετρελαίου, Ελλάδα, Π.Γ.Δ.Μ.
KEY WORDS: Engineering Geology, crude oil pipeline, Greece, FYROM.

1. ΓΕΝΙΚΑ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εργασίες κατασκευής αγωγών μεταφοράς πετρελαίου πραγματοποιούνται μετά από εκπόνηση μιας σειράς μελετών και σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές. Σε τέτοιου είδους έργα η εκπόνηση των σχετικών γεωλογικών-γεωτεχνικών μελετών είναι ουσιαστικής σημασίας τόσο στην πορεία και εξέλιξη της κατασκευαστικής φάσης όσο και στην πρόληψη πιθανών αστοχιών. Οι μελέτες αυτές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά τον προϋπολογισμό του έργου.

Οι μελέτες που εκπονούντο, πριν από την έναρξη της κατασκευής, για τέτοιου είδους έργα στον ελληνικό χώρο, μέχρι την εκπόνηση της μελέτης αυτής, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν αντιμετώπιζαν ολοκληρωμένα τα εν δυνάμει προβλήματα. Οι λόγοι της κατάστασης αυτής οφείλονταν κυρίως στο γεγονός ότι δεν υπήρχε τήρηση των προδιαγραφών, ενώ παράλληλα δεν αντιμετωπίζονταν με την απαιτούμενη προσοχή τα γεωλογικά & γεωτεχνικά προβλήματα, κατασκευής και ασφάλειας του αγωγού (πλήρης υποβάθμιση των θεμάτων), και στο ότι πολύ συχνά ο ανάδοχος του έργου επιφορτιζόταν την ευθύνη της εκπόνησης όλων των απαιτούμενων μελετών. Στο πλαίσιο αυτό υποβαθμίζονταν οι γεωλογικές - γεωτεχνικές μελέτες υποδομής. Οι γεωλογικές μελέτες εξαντλούνταν στην καλύτερη περίπτωση σε μια αναγνωριστική έκθεση και μια μηκοτομή μικρής κλίμακας ενώ οι γεωτεχνικές έρευνες σε επίπεδο προσδιορισμού γενικών γεωτεχνικών χαρακτηριστικών σε ομαδοποιημένους σχηματισμούς. Στις περισσότερες περιπτώσεις ειδικές μελέτες για θέσεις με ιδιαίτερα γεωλογικά-γεωτεχνικά προβλήματα εκπονούνταν μετά από αστοχία σε κάποια περιοχή του έργου (κατολισθήσεις, ερπυσμοί, κ.λ.π.), κατά ή μετά την κατασκευή, ή κατόπιν απαίτησης της εταιρείας που θα ασφάλιζε το έργο.



Εικόνα 1. Η χάραξη του αγωγού πετρελαίου Θεσσαλονίκης Σκοπίων.
Figure 1. The route of the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Οι εκπονούμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες για το έργο, έχουν σκοπό να διερευνήσουν:

- Τους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά μήκος της χάραξης.
- Την αγωγιμότητα των εδαφικών σχηματισμών (καθοδική προστασία αγωγού).
- Την μορφολογία του εδάφους και την ευκολία διάβρωσής του.
- Την ευστάθεια πρανών.
- Τα πιθανά προβλήματα και τρόπους αντιμετώπισής τους στις διελεύσεις του αγωγού από υδάτινα ρεύματα.
- Την παρουσία ρηξιγενών ζωνών.
- Την παρουσία υπόγειων υδάτων.
- Τα ειδικά γεωτεχνικά προβλήματα (βαλτώδες έδαφος, μεγάλη κλίση εδάφους, προστασία από την διάβρωση κλπ) και ειδικές κατασκευές προστασίας.
- Τις Περιβαλλοντικές συνθήκες, επιπτώσεις από το έργο και μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος.

Ένα από τα ιδιαίτερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά την κατασκευή είναι η ελλιπής εφαρμογή των προβλεπόμενων από τις μελέτες προδιαγραφών και ειδικών κατασκευών. Εξίσου σημαντικό είναι να τροποποιούνται οι προδιαγραφές με τη συσσώρευση εμπειρίας και να συμπληρώνονται πάντα προς την κατεύθυνση της ασφάλειας του έργου. Είναι σημαντικό να εκπονούνται οι μελέτες προς τη συντηρητική κατεύθυνση (λαμβάνοντας υπόψη τις χειρότερες δυνατές συνθήκες), και στη συνέχεια να αξιοποιούνται τα ευρήματά τους σε συνδυασμό με τη σχολαστική εφαρμογή των προδιαγραφών κατασκευής.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο έργο της μελέτης και κατασκευής του πετρελαιαγωγού Θεσσαλονίκης-Σκοπίων, με δεδομένες τις απαιτήσεις για την ασφάλεια του έργου, και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι, το μεγαλύτερο τμήμα του αγωγού ήταν στο έδαφος της Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.), αναζητήθηκε ένα σχήμα ελέγχου-επίβλεψης, από την πλευρά του αναδόχου κατασκευαστή, το οποίο θα εξασφάλιζε την όσο το δυνατόν καλύτερη εκπόνηση των μελετών. Συμμετέχοντας στο σχήμα αυτό, και ειδικά στο σχήμα επίβλεψης των αντίστοιχων μελετών στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. και της εκπόνησης των γεωλογικών μελετών στο Ελληνικό τμήμα, τέθηκαν οι προϋποθέσεις για πληρέστερη καταγραφή των συνθηκών έδρασης του αγωγού (Εικόνα 1).

2. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στα πλαίσια της γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης του έργου έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

- Αναγνωριστική Γεωλογική Μελέτη σε όλο το τμήμα της χάραξης του αγωγού, σε κλίμακα 1:20.000 (Ελληνικό τμήμα) και 1:25.000 (τμήμα Π.Γ.Δ.Μ.), σύμφωνα με τις προδιαγραφές έργων οδοποιίας. Στα πλαίσια των μελετών αυτών προσδιορίσθηκαν θέσεις με προβλήματα στην έδραση του αγωγού ενώ αναζητήθηκαν και προτάθηκαν εναλλακτικές λύσεις, πολλές από τις οποίες υιοθετήθηκαν. Στην φάση αυτή επίσης προτάθηκαν και οι απαραίτητες γεωτεχνικές έρευνες για την σεισμική επαλήθευση του αγωγού ανά είδος και φάση σχηματισμών. Παράλληλα, σκοπός των ερευνών σε ορισμένες θέσεις ήταν ο προσδιορισμός του σεισμικού υποβάθρου.
- Στα πλαίσια των γεωτεχνικών ερευνών πραγματοποιήθηκαν ερευνητικές γεωτρήσεις, "cross-hole", φρέατα, "CPT". Σε κάθε γεώτρηση πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες επιτόπου δοκιμές (SPT, διαπερατότητα, κ.λ.π.) και λήφθηκαν τα απαραίτητα δείγματα για εργαστηριακές δοκιμές (από γεωτρήσεις και φρέατα). Το βάθος των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, ανάλογα με τη γεωλογία και τα χαρακτηριστικά, κυμάνθηκε από 15 έως 30m περίπου. Έγινε καταγραφή των εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με το "ASTM Standard Practice D 2488-84 (or -90)" ή το "(American) Unified Soil Classification System (USCS)". Επίσης έγινε περιγραφή των βραχωδών σχηματισμών και καταγραφή του "RQD" καθώς και δοκιμές "Maag" για την περατότητα. Τηρήθηκε σχολαστικό πρωτόκολλο για την αποφυγή λανθασμένων χειρισμών και αναλύσεων δειγμάτων (σωστή συσκευασία και συντήρηση δειγμάτων, συμπλήρωση εντύπων με όλα τα απαραίτητα στοιχεία, αναγραφή των ζητούμενων αναλύσεων κλπ). Στις δοκιμές "cross-hole" έγινε προσεκτική τοποθέτηση του σωλήνα με συμπλήρωση του τσιμέντου από κάτω προς τα επάνω μέσω ειδικού σωλήνα ("tremie grouting").
- Γεωφυσικές εργασίες για την εκτίμηση της αγωγιμότητας των ανωτέρων εδαφικών στρωμάτων (χρήση για καθοδική προστασία).
- Ειδικές τεχνικογεωλογικές μελέτες σε τμήματα που απαιτούσαν περαιτέρω διερεύνηση λόγω προβλημάτων κατολισθήσεων, ευστάθειας πρανών, ερπυσμών, διαβρώσεων, ρηξιγενών ζωνών, υψηλής υδροφορίας, διέλευσης μεγάλων ποταμών - ρεμάτων - μεγάλων καναλιών αποστράγγισης κ.λ.π., σε κλίμακα 1:2500, 1:2000, και 1:1000, σύμφωνα επίσης με τις προδιαγραφές των έργων οδοποιίας καθώς και γεωλογική μηκοτομή σε κλίμακα 1:2500/1:250. Στη γεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα ρήγματα και τα τεχνικο-γεωλογικά τους χαρακτηριστικά (βραχώδες, ημιβραχώδες, μαλακό έδαφος, βαλτώδες κλπ). Συλλογή στοιχείων για υπόγεια νερά, έλεγχος κλίσης πρανών, στοιχείων διάβρωσης κ.α. Στην φάση αυτή των εργασιών, προτάθηκε δεύτερο πρόγραμμα γεωτεχνικών εργασιών από γεωτρήσεις με εγκατάσταση πιεζόμετρων, και επιτόπου δοκιμές, φρέατα, εργαστηριακές δοκιμές, CPT.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η διέλευση του αγωγού τόσο στο Ελληνικό όσο και στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. ανήκει στη γεωτεκτονική ενότητα του Αξιού (Βαρδάρη)(ARSOVSKI, M. et al., 1976, KOCKEL, F. et al., 1971, MERCIER, J., 1968). Με πιο σύγχρονες απόψεις η ζώνη διέλευσης του αγωγού τοποθετείται στη στην ενότητα της Παιονίας (IGME, 1993, KATSIKATSOS, G., 1992), MOUNTRAKIS, D., 1985, PAPANIKOLAOU, D., 1986). Το ανατολικό τμήμα της άλλοτε ζώνης του Αξιού, αντιστοιχεί σε μια θαλάσσια αύλακα που παρεμβαλλόταν μεταξύ της Σερβομακεδονικής μάζας (από τα ανατολικά) και του υποθαλασσίου υβώματος του Πάϊκου (δυτικά).

3.2 ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος της χάραξης του αγωγού στο Ελληνικό τμήμα, από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους είναι:

Ολοκαινικές αποθέσεις που διακρίνονται σε:

- Αλλουβιακές αποθέσεις ποταμών και χειμάρρων (al), που αποτελούνται από αμμοχάλικες, άμμους, πηλούς, αμμούχες αργίλους. Τα υλικά συνήθως είναι ασύνδετα μεταξύ τους και έχουν μικρό πάχος.
- Ιζήματα αποξηραμένων λιμνών Αρτζάν και Αματόβου (H), που αποτελούνται από ιλυώδεις αργίλους, αργίλους, ιλύ, λεπτόκοκκους άμμους καστανού χρώματος και σπανιότερα παρεμβολές αδρόκοκκων άμμων και χαλίκων.

- Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες (Ho) προσχώσεων των κοιλάδων που αποτελούνται κυρίως από ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στις ζώνες των χειμάρρων και του Γαλλικού Ποταμού, περιέχουν κροκάλες και άμμους ενώ στη βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή.
- Κώνοι κορημάτων (Q). Πρόκειται για αδρόκοκκες άμμους, χαλίκια, κροκάλες, ασβεστιτικής κυρίως σύστασης, με σπανιότερες παρεμβολές χαλαρών κροκαλοπαγών ή ογκολίθων. Εμφανίζονται ελάχιστα κατά μήκος της χάραξης.

Πλειστοκαινικές αποθέσεις (Pt). Αποτελούνται από ερυθρές αμμούχες αργίλους, ερυθρές αργιλούχες άμμους και σπανιότερα από διάσπαρτα χαλίκια. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται φακοί αμμοχάλικων και ασβεστιτικοί τόφφοι.

Νεογενή ιζήματα. Πρόκειται για σχηματισμούς του Ανώτερου Μειόκαινου που αποτελούνται από ερυθρές αργίλους και ιλυώδεις αργίλους, εναλλαγές αδρόκοκκων άμμων ή αμμοχάλικων με ψαμμίτες και μάργες, εναλλαγές αδρόκοκκων άμμων με αμμοχάλικα, χαλαρά κροκαλοπαγή και μάργες) και εναλλαγές άμμων με αμμούχες αργίλους, μάργες και αργιλούχες άμμους.

Ιζήματα Α. Ηώκαινου - Ολιγόκαινου. Ψαμμίτες και κροκαλοπαγή που συναντώνται στην περιοχή Αρτζάν(Ε).

Τριαδικοί ασβεστόλιθοι που ανήκουν στην ενότητα Βαφειοχωρίου (Τκ). Είναι μεσόκοκκοι έως αδρόκοκκοι, συμπαγείς και κατά θέσεις στρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, σπάνια με παρεμβολές σιπολινών και ενστρώσεις γραφιτικών σχιστολίθων.

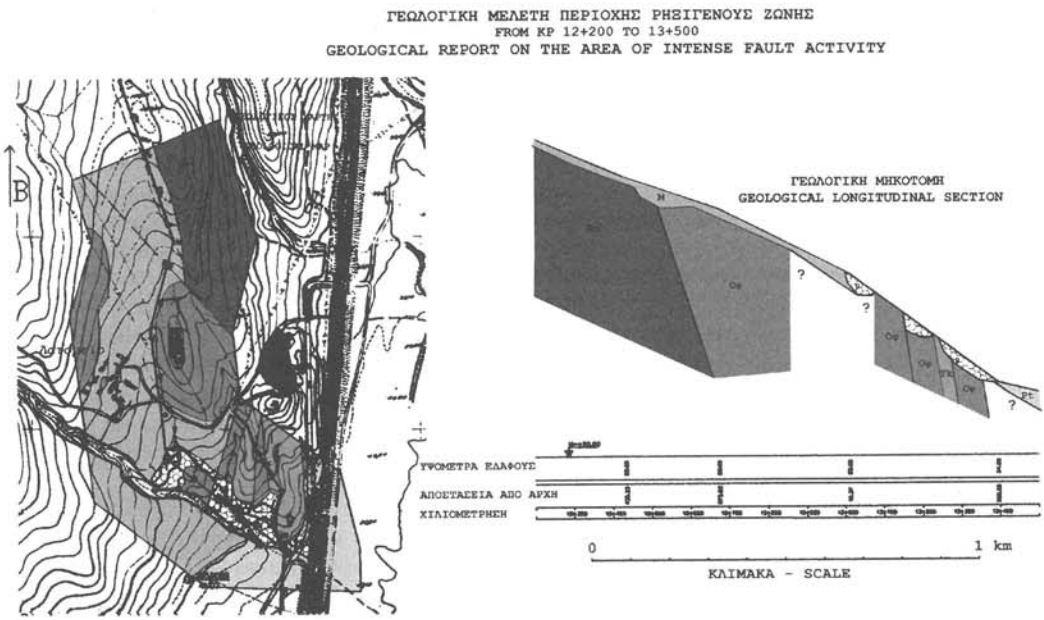
Τεκτονισμένη ζώνη. Αφορά την ζώνη παράλληλων διαρρήξεων που καταγράφεται κοντά στη θέση "Λατομείο". Η τεκτονισμένη αυτή ζώνη (Τ-Ο) διακόπτει την στρωματογραφική συνέχεια των τριαδικών ασβεστόλιθων και των οφιολίθων (κυρίως Γάββροι).

Μεταμορφωμένο υπόβαθρο-Παλαιοζωικό(gn). Πρόκειται για γνεύσιους που διασχίζονται από απλιτογρανιτικές φλέβες.

Εκρηξιγενή πετρώματα. Γρανίτης (Γρ) ερυθρού χρώματος, Ανω-ιουρασικής ηλικίας.

Οφιολιθικό σύμπλεγμα. Γάββροι (Γβ) του οφιολιθικού συμπλέγματος με διάσπαρτες φλέβες διαβάση. Είναι πολυκερματισμένος και παρουσιάζει συχνά σε τεχνικά πρανή φαινόμενα ολισθήσεων και καταπτώσεων (Εικόνα 2).

Βασικό τεκτονικό χαρακτηριστικό της γεωτεκτονικής ζώνης που εξετάζεται είναι η λεπιοειδής τεκτονική. Οι λιθολογικές ενότητες της ζώνης που περιγράφτηκαν στη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά, η κάθε μια, ένα λέπος που συγκροτείται από ορισμένους σχηματισμούς και που προέκυψε από σχετικές κινήσεις διευθύνσεως Α-Δ.



Εικόνα 2. Αντιπροσωπευτική γεωλογική χαρτογράφηση σε περιοχή ειδικής διερεύνησης από 12+200 - 13500KP.

Figure 2. Representative geological mapping in special investigation area from 12+200 to 13+500 KP.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ
LEGEND

al — Αποθέσεις χειμάρρων από αμμοχάλικες, άμμους και αργίλους πολύ μικρού πάχους.
Torrent deposits consisting of sandy gravel, sand and clay beds, of small thickness.

Κώνοι κορημάτων από ασβεστολιθικά υλικά και υλικά οφιολίθων, άμμους και αργίλους. Μέγιστο πάχος 8m.
Detrical cones consisting of calcareous and ophiolitic material, sand and clay. Maximum thickness 8m.

Pt — Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις που αποτελούνται από ερυθρές αργίλους, αργιλούχες άμμους και σπανιότερα από διάσπαρτους χάλικες. Σε ελάχιστες θέσεις παρεμβάλλονται φακοί αμμοχαλίκων. Μέγιστο εκτιμώμενο πάχος 10m.
River and torrent deposits consisting of red clay, clayey sand beds and rarely of dispersed gravels. In few locations the intercalation of sandy gravel lenses occurs. Maximum estimated thickness 10m.

M — Ερυθρές αμμούχοι άργιλοι με αδρομερή κλαστικά υλικά σε εναλλαγές με αδρόκοκκες άμμους και ψαθυρούς μαργαϊκούς ψαμμίτες. Μέγιστο πάχος 25m.
Red sandy clay beds with coarse clastic material alternating with coarse sands and brittle marly sandstones. Maximum estimated thickness 25m.

Tk — Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι μεσόκοκκοι έως αδρόκοκκοι, συμπαγείς, στρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, κερματισμένοι. Ορατό πάχος 200m περίπου.
Recrystallised limestone, medium to coarse grained, fresh, bedded to thin bedded, fractured. Visible thickness approximately 200m.

Γνεύσιοι με βιοτίτη, κορδιερίτη, σιλιμανίτη που διασχίζονται από απλιτογρανιτικές φλέβες που εμπεριέχουν τα παραπάνω υλικά. Στα τεχνητά πρανή εμφανίζεται έντονα κερματισμένος. Στα φυσικά πρανή καλύπτεται από εδαφικό μανδύα μικρού πάχους.
Gneiss with biotite, cordierite, sillimanite. The formation is crossed by aplite-granitic dikes, which comprise all the above mentioned minerals. On cut slopes the formation is highly fractured, while on natural slopes is covered by a soil mantle of minimal thickness.

O — Οφιολιθικό σύμπλεγμα έντονα εξαλλοιωμένο και τεκτονισμένο αποτελούμενο κυρίως από σερικίτες, χλωρίτες και φλέβες διαβασών.
Ophiolite complex formations, highly altered and tectonised, consisting of sericite, chlorite and diabase dikes.

Κατά βάθος διάβρωση.
Erosion line.

Πιθανό ρήγμα.
Possible fault.

Ορατό ρήγμα.
Visible fault.

Φr. — Προτεινόμενη θέση ερευνητικού φρέατος.
Proposed trial pit location.

BHr. — Προτεινόμενη θέση ερευνητικής γεώτρησης.
Proposed exploration borehole.

Εικόνα 3. Αντιπροσωπευτικό cross hole test d1 στην ΚΡ 7+000 και CPT test p1 στην ΚΡ 14+000.
Figure 3. Geotechnical cross hole test d1(in KP 7+000) and CPT test p1 (in KP 14+000.

Στην περίοδο του Νεογενούς-Τεταρτογενούς έχουμε την απόθεση των μεγάλου πάχους μεταλπικών ιζημάτων που κάλυψαν τους αλπικούς σχηματισμούς και απομόνωσαν τα μεγαλέπη-ενότητες. Τέλος, στο Τεταρτογενές σημειώνεται έντονος εφελκυστικός τεκτονισμός όλων των σχηματισμών και κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις, που συνοδεύονται από σεισμική δραστηριότητα.

Εμφανίζονται ρήγματα, εγκάρσια, διευθύνσεως ΒΑ έως ΑΒΑ, όπως είναι τα ρήγματα Βαφειοχωρίου, Μεταλλικού, Ασπρης Βρύσης και Ωραιοκάστρου. Στη δράση των ρηγμάτων Πλειοκαινικής και Τεταρτογενούς ηλικίας αποδίδεται η δημιουργία των βυθισμάτων των Τεταρτογενών λιμναίων αποθέσεων των λιμνών Αρτζάν και Αματόβου. Σημαντική επίσης είναι η παρουσία ρηγμάτων ΒΒΔ διεύθυνσης, που χωρίζουν την ενότητα Βαφειοχωρίου από τα βυθίσματα της λίμνης Αματόβου.

Η σεισμοτεκτονική μελέτη που εκπονήθηκε από το Αστεροσκοπείο Αθηνών εντόπισε ένα ενεργό ρήγμα, εκείνο του Πολυκάστρου που τέμνει σχεδόν κάθετα τη χάραξη. Με βάση τη σεισμοτεκτονική ανάλύση οι εδαφικές μετακινήσεις κατά μήκος της χάραξης εκτιμήθηκαν 20 cm το μέγιστο μετά από σεισμό.

Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την εκπόνηση των μελετών στο Ελληνικό τμήμα της χάραξης του αγωγού ήταν κυρίως: η υψηλή υδροφορία σε ορισμένα τμήματα καθώς και η τομή της χάραξης με το ρήγμα Σιδηροκάστρου. Οι διελεύσεις της χάραξης με χείμαρρους, ποτάμια και αρδευτικά κανάλια ήταν περισσότερες από 100, με κυριότερες τα δύο μεγάλα αποστραγγιστικά κανάλια με αναχώματα (λίμνη Αματόβου) και η διέλευση του Γαλλικού ποταμού. Παρόλα αυτά δεν πραγματοποιήθηκαν σημαντικές αλλαγές στη χάραξη και αυτό γιατί οι γεωτεχνικές και γεωλογικές μελέτες είχαν προηγηθεί της κατασκευής.

Με βάση το γεωτεχνικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν συνολικά, στο ελληνικό τμήμα της χάραξης, 3 cross-hole, 10 ερευνητικά φρέατα, 33 CPT, και 9 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε δείγματα των οποίων έγιναν και εργαστηριακές γεωτεχνικές δοκιμές. Καθορίστηκαν έτσι τα πάχη των αποθέσεων στις περιοχές των διελεύσεων του αγωγού από ρέματα, κανάλια, ποτάμια, οι γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές τους ιδιότητες (Εικόνα 3).

3.3 ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΗΝ Π.Γ.Δ.Μ.

Το μεγαλύτερο τμήμα των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών έγιναν από ομάδα γεωτεχνικών και γεωλόγων του Πανεπιστημίου "Κυρίλλου και Μεθοδίου" των Σκοπίων, με υπεύθυνους τους Prof. Naum Gapkovski και Milorad Jovanovski σε άμεση και συνεχή συνεργασία με την Ελληνική ομάδα μελέτης.

Η χάραξη του αγωγού, στην περιοχή της Π.Γ.Δ.Μ. διασχίζει τη γεωτεκτονική ζώνη του Αξιού-Βαρδάρη (ARSOVSKI, M, et al., 1976, KOCKEL, F. et al., 1971, MERCIER, J., 1968, PETKOVSKI, R., 1992)). Το άμεσο γεωλογικό υπόβαθρο της ζώνης χαρτογράφησης από τους νεότερους προς του παλιότερους σχηματισμούς αποτελούν:

Ολοκαινικές αποθέσεις, κροκαλολατυποπαγών, ιλύων και άμμων. Πρόκειται για σύγχρονες αποθέσεις οι οποίες αποτελούνται από κροκάλες, λεπτόκοκκες άμμους, ιλυούχες αργίλους, αργίλους και ιλύ. Σπανιότερα παρεμβάλλονται χονδρόκοκκοι άμμοι και ακόμα πιο σπάνια χαλαρά κροκαλοπαγή. Πλειστοκαινικές αποθέσεις που αποτελούνται από κιτρινότεφρες ιλύες, αργίλους, ιλυούχους άμμους, διάσπαρτους χάλικες και κροκάλες καθώς και παρεμβολές φακών αμμοχάλικων. Πρόκειται για ποταμοχειμάρριες κυρίως αποθέσεις αναβαθμίδας. Κατά θέσεις στις συμβολές των χειμάρρων με την κεντρική κοίτη εμφανίζονται μικρής έκτασης κώνοι αποθέσεις αποτελούμενοι από διάφορα υλικά κροκαλών, άμμων και ιλύων. Πλειοκαινικά λιμναία ιζήματα κροκαλοπαγών, άμμων και αργίλων. Μειοκαινικά λιμναία ιζήματα κροκαλοπαγών, άμμων και αργίλων. Α. Ηωκαινικά ιζήματα του φλύσχη, κροκαλοπαγών, μαργών, πυριτιολίθων και ψαμμιτών σε εναλλαγές. Μεσοζωϊκοί σχηματισμοί διαβασών, σπιλιτών και χαλαζιτών-μονζονιτών. οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί των γάββρων οι οποίοι παρουσιάζουν ανάπτυξη σε μεγάλη έκταση.

Οι μεσοζωικοί σχηματισμοί είναι έντονα τεκτονισμένοι από τις φάσεις των αλπικών πτυχώσεων. Σε γενικές γραμμές τα περισσότερα από τα ενεργά ρήγματα είναι καλυμμένα από τεταρτογενείς αποθέσεις ή από λιμναία ιζήματα του Πλειόκαινου. Σε πολλές περιπτώσεις συνδέονται και με τις αναβλύσεις θερμών πηγών (Katlanovo). Η ζώνη του Αξιού, όπου και γίνεται η διέλευση του αγωγού, είναι ιδιαίτερα σεισμογενής και μετά από τη σεισμοτεκτονική μελέτη του IZIIS (Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology of Skopje), διαπιστώθηκαν 14 ενεργά ρήγματα που τέμνουν την χάραξη του αγωγού πετρελαίου. Τα περισσότερα από αυτά είναι κανονικά ρήγματα (8) και τα υπόλοιπα οριζόντιας μετακίνησης, με μεγέθη σεισμών από 4.5 μέχρι και 6.1 της κλίμακας Richter. Με βάση τις σεισμοτεκτονικές αναλύσεις οι εδαφικές μετακινήσεις κατά μήκος της χάραξης εκτιμήθηκαν από 10-30 cm το μέγιστο μετά από σεισμό.

Σε αντίθεση με το ελληνικό τμήμα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο τμήμα της χάραξης στη Π.Γ.Δ.Μ. ήταν πολύ περισσότερα. Ο κυριότερος λόγος ήταν ότι η κατασκευή του αγωγού γινόταν ταυτόχρονα με την

εκπόνηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών ενώ πολλές φορές οι μελέτες ακολουθούσαν την κατασκευή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να υπάρξουν 11 αλλαγές στην τελική χάραξη, που αντιπροσώπευαν το 30% του μήκους της συνολικής χάραξης. Η αρχική χάραξη που είχε οριοθετηθεί κατά μήκος της κοίτης του Αξιού εγκαταλείφθηκε οριστικά για περιβαλλοντικούς και αναπτυξιακούς λόγους (φράγματα).

Τα κυριότερα προβλήματα που διαπιστώθηκαν κατά την εκπόνηση των μελετών στο τμήμα της χάραξης του αγωγού στην Π.Γ.Δ.Μ. ήταν προβλήματα σχετικά με τις τοπογραφικές αποτυπώσεις, τα ενεργά ρήγματα, τα τεχνητά και φυσικά πρανή, οπισθοδρομούσα διάβρωση, οι ερπυσμοί και οι κατολισθήσεις, η υψηλή υδροφορία σε ορισμένα τμήματα, οι διελεύσεις του Αξιού και των παραποτάμων του με υψηλή παροχή και στερεοπαροχή καθώς και οι αναβλύσεις θερμών πηγών σε ορισμένες θέσεις. Οι διελεύσεις της χάραξης με ποταμούς και άλλα τεχνικά (δρόμους, αναχώματα κ.α.) ήταν περισσότερες από 150 με κυριότερες τις δύο διελεύσεις του Αξιού, τις διελεύσεις των παραποτάμων του "Pcinja, Crna, Luda Mara, Bregalnitsa, Bosava και Pridevska". Με βάση το γεωτεχνικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν συνολικά, στο τμήμα αυτό της χάραξης, 3 cross-hole, 14 ερευνητικά φρέατα, 19 CPT, και 12 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε δείγματα των οποίων έγιναν και εργαστηριακές γεωτεχνικές δοκιμές. Καθορίστηκαν έτσι τα πάχη των αποθέσεων στις περιοχές των διελεύσεων του αγωγού από τα ποτάμια και τεχνικά έργα, οι γεωτεχνικές και υδρογεωλογικές τους ιδιότητες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες καθώς και το γεωτεχνικό πρόγραμμα έχουν ολοκληρωθεί και η φάση της κατασκευή βρίσκεται σε εξέλιξη. Με βάση την εμπειρία, τα στοιχεία των μελετών και τις παρατηρήσεις κατά μήκος της χάραξης μπορούν να διατυπωθούν κάποια συμπεράσματα και εκτιμήσεις σχετικά με τις μελέτες και την κατασκευή αυτού του ειδικού έργου.

Η πρώτη εμπειρία από έργα τέτοιας μορφής έδειξε ότι οι γεωλογικές και γεωτεχνικές ερευνητικές εργασίες έλυσαν προβλήματα που αφορούσαν τόσο την ασφαλή χάραξη και κατασκευή του αγωγού, όσο και τη μείωση του κόστους της κατασκευής του έργου (αλλαγές στη χάραξη).

Οι πολύ περιορισμένες σε αριθμό και μήκος γεωτρήσεις για τον προσδιορισμό της γεωμετρίας των ρηγμάτων απέδωσαν στο σύνολό τους. Τα στοιχεία αυτά ήταν απαραίτητο να προσδιορισθούν, αφού με τον τρόπο αυτό καθορίζονται τα μέτρα προστασίας (πάχος αγωγού, ειδική θεμελίωση, μήκος επιρροής σεισμικού κινδύνου).

Σε αρκετές θέσεις της χάραξης, ιδιαίτερα στο τμήμα της Π.Γ.Δ.Μ. παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα προβλήματα, όπως οπισθοδρομούσα διάβρωση ρεμάτων που μπορεί να επηρεάσει την ευστάθεια του ROW, τομές του αγωγού με ενεργά ρήγματα, ζώνες παλαιών κατολισθήσεων, αστάθειες πρανών, που εντοπίστηκαν και αντιμετωπίστηκαν στη διάρκεια της κατασκευής του έργου.

Το ερευνητικό γεωτεχνικό πρόγραμμα σχεδιάστηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα αποτελέσματα προσδιορισμού των γεωτεχνικών παραμέτρων σεισμικής απόκρισης των cross hole να συσχετίζονται με τα αποτελέσματα των CPT. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν η μείωση των cross hole και των CPT και παράλληλα ο καλύτερος και πιο αντιπροσωπευτικός προσδιορισμός των γεωτεχνικών παραμέτρων.

Με τα φρέατα, τις γεωτρήσεις, τα SPT και τις εργαστηριακές δοκιμές, προσδιορίστηκαν τα στρωματογραφικά χαρακτηριστικά των χαλαρών σχηματισμών, οι γεωτεχνικές τους ιδιότητες και οι στάθμες του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Παράλληλα από την εμπειρία αυτή προκύπτουν και μια σειρά γενικών προτάσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή:

- Σε πολλές περιπτώσεις κατά τη διάνοιξη του ROW (διέλευση προσπέλαση του αγωγού) επιχώνονται τα ρέματα (μικρά και μεγάλα). Πρέπει να παραμένει ελεύθερη η αποστράγγιση των ρεμάτων με τα ανάλογα τεχνικά έργα.
- Παρατηρείται ότι πολύ συχνά ο αγωγός δεν ακουμπά στον πυθμένα του χαντακιού (μετά την τοποθέτησή του στο χαντάκι) με αποτέλεσμα να είναι χωρίς στήριξη σε μεγάλο μήκος ("free span"). Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί κατ' αρχάς με σωστή κατασκευή του χαντακιού και στη συνέχεια εάν τοποθετείται επάνω σε σάκους άμμου και κατόπιν το χαντάκι γεμίζεται με άμμο. Δηλαδή χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 20 εκ. άμμου σαν υπόστρωμα και 20 εκ άμμου σαν κάλυμμα του αγωγού (top, middle and bottom pading). Αυτή η πρακτική πρέπει να αποτελέσει και την μόνη επιλογή έδρασης του αγωγού.
- Συνίσταται αλλαγή του τρόπου κατασκευής των "rip rap" στα σημεία διέλευσης του αγωγού με ποτάμια. Πρέπει να κατασκευάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τουλάχιστον εν μέρει τη δίοδο του νερού. Αλλιώς υποσκάπτονται και καταστρέφονται από τη διάβρωση.
- Κατά τη φάση κατασκευής του ROW του αγωγού, τα τεχνητά πρανή πρέπει να έχουν ήπιες κλίσεις και

μικρό ύψος ανάλογα τους σχηματισμούς, να γίνονται έργα αποστράγγισης κατά τη διάνοιξη, τα νερά που αποστραγγίζουν να οδηγούνται σε αποδέκτη που απέχει 100m τουλάχιστον από την χάραξη και τέλος οι διελεύσεις των ρεμάτων να γίνονται σύμφωνα με τα σχετικά τυπικά σχέδια του έργου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ARSOVSKI M. and PETKOVSKI R. 1975. Neotectonics of Macedonia, IZIIS Publication No.49, Skopje.

ARSOVSKI M., PETKOVSKI R., HADZIEVSKI D. 1976. Seismotectonic Properties of the Vardar Zone, Proceedings of the Seminar on Seismic Zoning Maps, vol. 1, UNESCO, Skopje.

COMNINAKIS, P.E. and PAPAZACHOS, B.C. 1986. A catalogue of earthquakes in Greece and the surounding area for the period 1901-1985.Publ. Geophys. Lab. υπίν. Thessaloniki, 1, 1-167.

FEDERAL GEOLOGICAL INSTITUTE, BELGRADE, 1970- 1984. Main geological map of Macedonia 1:100000,

GAPOVSKI N., JOVANOVSKI M. 2000. Geological reports in special investigation areas, along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (FYROM teritorries). University of "St. Cyril and Methodius" Skopje.

IGME, 1989. Seismotectonic Map of Greece.

IGME, 1993. Geological Sheets. Plati and Ευzonoi.

KATSIKATSOS, G. 1992. Geology of Greece.Athens, 451 ρ.

KOCKEL, F., MOLLAT, H. and WALTHER, H.W. 1971. Geologe Des Serb- Mazedonischen massive and seines mesozoichen Rahmens (Nordgriechenland). Geol. JB., 89, 529-551.

LIONIS m., ANTONIADES K., STOURNARAS G., PAVLOPOULOS K., ELEFTHERIOU M.2000.Geological reports in special ivestigation areas along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (Greek teritorries).

MERCIER, J. 1968. Etude geologique des zones internes des Hellenides Macedoine centrales. Contribution a l'etude du metamorphisme et de l'evolution magmatique des zones internes des Hellenides. Ann. Geol. Des Pays Hel/., 20, 1-735.

MOUNTRAKIS, O., KILIAS, A., PAVLIDES, S., KOUFOS, G., SPYROPOULOS, N., TRANOS, M., PAPAZACHOS, C., ZOUROS, N., FASSOULAS, Ch. 1995. Map of Active faults of Greece. Macedonia Region, 1: 300.000 (IN Greek) Unpubl. Report. OASP 106ρρ.

MOUNTRAKIS, D. 1985. Geology of Greece. Thessaloniki, 207 ñ.

MOUNTRAKIS, O., PSILOVIKOS, A., and PAPAZACHOS, B. 1983. The Geotectonic regime of the 1978 Thessaloniki earthquakes. In special volume, .The Thessaloniki. Northem Greece. Earthquake of June 20, 1978 and its seismic sequence. Technical Champer of Greece, Section of Central Macedonia, editors B. C. Papazachos, P. G. Carydis.

PAPANIKOLAOU D. 1986. Geology of Greece.Athens, 240 pp.

PAPAZACHOS B. 1997, The Earthquakes in Greece, Thessaloniki.

PAPAZACHOS, B.C., PAPAIOANNOU, CH. A., PAPAZACHOS, C.B. and SAVVAIDIS, A.S. 1997. Rupture zones and seismic faults of shallow eartquakes íπ Greece. IASPEI 2gt11 General Assembly, Thessa/oniki, 18-28 August 1997.

PETKOVSKI R. (1992), Seismotectonic Characteristics of Macedonia, Mine and Geological Faculty, Belgrade.

STAVRAKAKIS g. 2000, Seismotectonic analysis and seismic hazard in areas along the crude oil pipeline from Thessaloniki to Skopje (Greek territories)

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1707-1714, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1707-1714, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ- ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ*

Λ. ΠΥΡΓΙΩΤΗΣ[1], Γ. ΚΟΥΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Αναφέρονται κατ' αρχήν στοιχεία που αφορούν στη μορφολογία και γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του Νομού Καρδίτσας και επισημαίνεται η αναγκαιότητα της τεχνικογεωλογικής- γεωτεχνικής θεώρησης των γεωλογικών σχηματισμών λόγω της άμεσης σύνδεσης με τις διάφορες τεχνικοοικονομικές δραστηριότητες (κατασκευή τεχνικών έργων, οικιστική γενικότερα ανάπτυξη και χρήσεις γης) καθώς και την εκδήλωση των καταστροφικών φαινομένων και ιδιαίτερα των κατολισθητικών. Στη συνέχεια αναλύονται οι τεχνικογεωλογικοί αυτοί χαρακτήρες των σχηματισμών μέσω της σύνταξης του αντίστοιχου χάρτη για το Νομό κλίμακας 1:100.000. Ειδικότερα διακρίνονται 12 λιθολογικές ενότητες για τις οποίες δίνεται το εύρος που αφορά τα φυσικά- μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Ο παραπάνω χάρτης αποτελεί ως εκ τούτου βασικό εργαλείο υποδομής για λεπτομερέστερες έρευνες και χρήσιμο οδηγό στο πλαίσιο των διαφόρων σχεδιασμών ανάπτυξης και αντιμετώπισης γεωτεχνικών προβλημάτων.

ABSTRACT

Data concerning the morphology and geological structure of the wider area examined are firstly given. Also the necessity for the engineering geological consideration is stressed as this is directly connected with the various technical works, land use as well as the mitigation of catastrophic geological phenomena and especially landslides.

For the above purposes the engineering geological map of the whole county was compiled at a scale of 1:100.000. This map is a multipurpose, comprehensive and of small scale map. It contains 23 lithological unities which in the frame of this work have been limited to 12 as follows: Quaternary (1,2 and 3 unities), Plio- Pleistocene sediments of mixed phases, molassic sediments, flysch formations, transition zone to flysch formations, Cretaceous limestones, Triassic- Jurassic limestones, schist- chert formations, metamorphic rocks, basic and ultrabasic rocks.

In the as above classified engineering geological unities and for the main sub- unities the range of the important physical and mechanical characteristics is given. This information is coming from the evaluation of a great number of geotechical works carried out in the area on behalf of various Organizations as well as the data from similar formations in the Greek territory.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Νομός Καρδίτσας, Τεχνικογεωλογικός χάρτης, Λιθολογικές ενότητες, Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.

KEY WORDS: Karditsa county, Engineering Geological map, Lithological unities, Physical and mechanical characteristics.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο νομός Καρδίτσας καταλαμβάνει το ΝΔικό τμήμα της Θεσσαλίας και η συνολική του έκταση ανέρχεται σε 2.636 km^2 έναντι 14.030 της Θεσσαλίας και 131.990 της χώρας, ήτοι το 18,8 % και 2 % αντίστοιχα.

Από μορφολογικής πλευράς ο νομός διακρίνεται σε δύο περιοχές, την πεδινή και την ορεινή. Η πεδινή αντιπροσωπεύει το 48,6 % της έκτασης του νομού, είναι τελείως επίπεδη και έχει έντονα γεωργικό χαρακτήρα. Η ορεινή (υψόμετρο μεγαλύτερο από 200m) καταλαμβάνει το 51,4 % του συνόλου και αποτελεί τμήμα του συγκροτήματος της Πίνδου- Αγράφων και της οροσειράς του Κόζιακα προς τα δυτικά ενώ νότια καλύπτεται από την οροσειρά της Ορθρυος και της χαμηλής Νότιας Πίνδου. Τα τελευταία χρόνια το τμήμα αυτό του νομού

* ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS OF KARDITSA COUNTY- CENTRAL GREECE

1. Παν/μιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Ρίο 26500 Πάτρα

παρουσιάζει έντονη πληθυσμιακή απογύμνωση, οικολογική υποβάθμιση και οικονομική υστέρηση.

Η γεωλογική δομή και η γεωτεκτονική εξέλιξη του νομού έχει μελετηθεί κατά καιρούς από πολλούς ερευνητές. Πλην όμως δεν υπάρχει η ανάλογη εμπειρία σχετικά με τους τεχνικογεωλογικούς χαρακτήρες των σχηματισμών και τα γεωτεχνικά προβλήματα που οι γεωλογικές συνθήκες υπαγορεύουν, τα οποία και συνδέονται με τις διάφορες τεχνικοοικονομικές δραστηριότητες του ανθρώπου όπως π.χ. η κατασκευή τεχνικών έργων στο πλαίσιο του τοπικού και περιφερειακού σχεδιασμού, η οικιστική γενικώτερα ανάπτυξη καθώς και οι χρήσεις γης. Προς την κατεύθυνση αυτή επισημαίνεται ιδιαίτερα η εκδήλωση των καταστροφικών φαινομένων, όπως οι κατολισθήσεις, που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα αστάθειας των πρανών καθώς και οι συνθήκες θεμελίωσης για τα μεγάλα αναπτυξιακά έργα που βρίσκονται σε εξέλιξη (Αρδευτικό Φράγμα Σμοκόβου, Επαρχιακοί δρόμοι Καρδίτσας- Καρπενησίου και Καρδίτσας- Αρτας, Φράγμα Συκιάς, Σήραγγα εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλική πεδιάδα) ή είναι υπό μελέτη στην περιοχή (Φράγματα Μουζακίου κλπ.).

Με βάση τα παραπάνω κρίθηκε σκόπιμο να διαγραφεί το τεχνικογεωλογικό πλαίσιο ολόκληρου του νομού. Προς την κατεύθυνση αυτή, πέρα από τα δεδομένα της υπαίθριας εργασίας συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές για την περιοχή του νομού (χάρτες, μελέτες, τεχνικές εκθέσεις, εργασίες κλπ.). Ετσι προσδιορίσθηκαν οι τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των διαφόρων σχηματισμών και οι αντίστοιχες συνθήκες ενώ παράλληλα συντάχθηκε και ο τεχνικογεωλογικός χάρτης του νομού σε κλίμακα 1:100.000.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η γεωλογική θέση του νομού στο όριο μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών Ελληνίδων καθώς και η συνεχιζόμενη γεωτεκτονική εξέλιξη της Θεσσαλικής λεκάνης στην περιοχή, υποδηλώνουν την ιδιαιτερότητα των γεωλογικών σχηματισμών αυτού. Οι γεωτεκτονικές ζώνες που δομούν το νομό από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι οι εξής (Πυργιώτης 1997):

i. Πελαγονική. Αποτελείται από δύο σειρές ως εξής:

- Κρυσταλλικό υπόβαθρο (Προ– Λιθανθρακοφόρο- Μέσο Τριαδικό).
- Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι- Μάρμαρα (Μέσο Τριαδικό- Κάτω Λιάσιο).

ii. Υποπελαγονική. Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ζώνης αυτής είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλαση που έχει μεγάλη εξάπλωση. Η οριστική ανάδυση της ζώνης έγινε στο τέλος Ηωκαίνου με τη λήξη της απόθεσης του φλύσχη.

iii. Υπερπινδική υποζώνη. Αποτελείται από δύο σειρές σχηματισμών: τη σειρά Κόζιακα και τη σειρά Θυμιάματος.

iv. Ωλονού- Πίνδου. Παρουσιάζει μεγάλη εξάπλωση στο νομό, τα στρώματα δε αυτής αναδύθηκαν με την τελική φάση πτυχώσεων του ανώτερου Ηωκαίνου– Κάτω Ολιγόκαινον. Κατά την διάρκεια της φάσης αυτής έγινε η προς τα δυτικά επώθηση της ζώνης Ωλονού– Πίνδου υπό μορφή καλύμματος πάνω σε αυτή της Γαβρόβου– Τρίπολης και ταυτόχρονα η λεπίωση των σχηματισμών της.

v. Γαβρόβου- Τρίπολης. Καταλαμβάνει μια μικρή περιοχή στο ΝΔκό τμήμα του νομού. Ο μόνος σχηματισμός της ζώνης αυτής που συμμετέχει στη λιθοστρωματογραφική διάρθρωση του νομού είναι ο φλύσχης, η απόθεση του οποίου άρχισε το Ανώτερο Ηώκαινο και έληξε στο τέλος Ολιγοκαίνου.

Επίσης, εκτός από τους σχηματισμούς των παραπάνω ενοτήτων σημαντικό τμήμα του νομού καταλαμβάνουν και τα μεταλπικά ιζήματα όπως οι Μολασσικοί σχηματισμοί της Μεσοελληνικής αύλακας, τα Νεογενή (μικρή εμφάνιση στο ΒΑκό τμήμα του νομού) καθώς και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις οι οποίες καλύπτουν σημαντική έκταση με κύρια ανάπτυξη στη Θεσσαλική πεδιάδα.

3. ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ

Στον Ελληνικό χώρο οι χάρτες που έχουν μέχρι σήμερα εκπονηθεί αναφέρονται βασικά στις μελέτες για την κατασκευή διαφόρων έργων (δρόμοι, φράγματα, σήραγγες) και στην αποκατάσταση αρχαιολογικών χώρων και μνημείων. Μια πρώτη τεχνικογεωλογική διάκριση των σχηματισμών του Ελληνικού χώρου δίνεται από τους Κούκη- Ρόζο (1982). Στη συνέχεια προσπάθειες έγιναν από μια σειρά ερευνητών (Μαρίνος κ.ά. 1983, Μαρίνος- Ξειδάκης 1987, Ρόζος 1989, Κούκης 1994, Κούκης κ.ά. 1994, Πυργιώτης 1997, Tsiambaos- Koukis 1990, Tsiambaos et al. 1997, Ρόζος κ.ά 1998, Koukis- Sabatakakis 2000, κ.ά.) με στόχο την εκπόνηση χαρτών ευρύτερων περιοχών που να περιέχουν βασικές τεχνικογεωλογικές πληροφορίες για το σχεδιασμό των χρήσεων γης τα τεχνικά έργα και τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, ολοκληρώθηκε πρόσφατα η σύνταξη του γεωτεχνικού χάρτη της Ελλάδας σε κλίμακα 1:500.000 (ΙΓΜΕ 1991).

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Καρδίτσας έχουν κατασκευασθεί,

βρίσκονται σε εξέλιξη ή είναι υπό μελέτη μεγάλα αναπτυξιακά έργα. Στα πλαίσια των έργων αυτών έχουν συνταχθεί κατά καιρούς τεχνικογεωλογικοί - γεωτεχνικοί χάρτες οι οποίοι όμως είναι μεγάλης κλίμακας και περιορίζονται στη στενή περιοχή του κάθε έργου. Σε καμιά από τις παραπάνω περιπτώσεις δεν έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στον ευρύτερο χώρο.

Το 1989, οι Ρόζος κ.ά. σε μία προσπάθεια καταγραφής και ταξινόμησης των κατολισθητικών φαινομένων στο ορεινό οδικό δίκτυο του Νομού προσδιόρισαν τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο σύνολό του με τη σύνταξη ενός χάρτη σε κλίμακα 1:250.000. Ο διαχωρισμός των ενοτήτων έγινε με καθαρά γεωλογικά κριτήρια, ενώ δίνονται ενδεικτικές τιμές για τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες αυτών καθώς και πληροφορίες για την επιδεκτικότητά τους σε κατολίσθηση.

Ο τεχνικογεωλογικός χάρτης του Νομού Καρδίτσας συντάχθηκε κατ΄αρχήν σε τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1:100.000 και περιελάμβανε 23 λιθολογικές ενότητες (Πυργιώτης 1997). Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής οι ενότητες του χάρτη έχουν περιορισθεί σε 12 (Εικ. 1). Η τεχνικογεωλογική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών, καταβλήθηκε προσπάθεια να ανταποκρίνεται στη διεθνή πρακτική θεώρηση (Anon. 1972, 1976, 1979, Dearman 1991), όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί μέχρι σήμερα, προσαρμοσμένες στις ιδιαιτερότητες της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των γεωμορφολογικών χαρακτήρων του Ελληνικού χώρου και φυσικά των φυσικομηχανικών δεικτών των σχηματισμών που συναντώνται στο Νομό.

Πρόκειται λοιπόν για ένα τεχνικογεωλογικό χάρτη **πολλαπλού σκοπού, συνοπτικού χαρακτήρα και μικρής κλίμακας**.

Τα εύρη τιμών των σημαντικότερων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων για κάθε μια από τις ενότητες αυτές, όπως προκύπτουν από ένα μεγάλο αριθμό γεωτεχνικών ερευνών που έχουν εκτελεσθεί στην περιοχή για λογαριασμό διαφόρων Υπηρεσιών και Οργανισμών (ΚΕΔΕ, ΙΓΜΕ, ΔΕΗ, ΟΣΕ, κλπ) καθώς και από την αξιολόγηση στοιχείων για ανάλογους σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο (ΙΓΜΕ 1991, Ρόζος 1989, Koukis – Rozos 1990, 1993, Rozos – Koukis 1991, 1993) δίνονται στον Πίνακα 1.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σχεδόν πλήρης έλλειψη στον Ελληνικό χώρο χαρτών ευρύτερων περιοχών (όπως νομών, διαμερισμάτων) που να περιέχουν βασικές τεχνικογεωλογικές πληροφορίες, η υλοποίηση-προγραμματισμός στην ευρύτερη περιοχή μεγάλων αναπτυξιακών έργων οδήγησαν στην σύνταξη του τεχνικογεωλογικού χάρτη του νομού σε κλίμακα 1:100.000. Σύμφωνα με τις διεθνείς απόψεις και προτάσεις που διατυπώθηκαν, ο παραπάνω χάρτης αποτελεί Τεχνικογεωλογικό Χάρτη πολλαπλού σκοπού, συνοπτικού χαρακτήρα και μικρής κλίμακας, που περιλαμβάνει 12 ενότητες. Η παραπάνω διάκριση και ονοματολογία των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων στηρίχθηκε σε γεωτεχνικά κριτήρια.

Ο χάρτης αυτός πιστεύεται ότι θα αποτελέσει βασικό έργο υποδομής για λεπτομερέστερες έρευνες αλλά και χρήσιμο οδηγό-βοήθημα στις αρμόδιες υπηρεσίες του νομού και σε κάθε τεχνικό, στην προκαταρκτική φάση της μελέτης των διαφόρων τεχνικών έργων που προγραμματίζονται ή βρίσκονται σε εξέλιξη, στην αστική ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς και στην αντιμετώπιση των τεχνικογεωλογικών προβλημάτων τα οποία συνδέονται με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ANON. 1972. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Report by Engineering Group of Geological Society, Working Party, *Q. Jl. Eng. Geol.* **5,** 293-382.

ANON. 1976. *Engineering Geological Maps. A Guide to their Preparation,* Paris, 79pp. (The UNESCO Press Paris).

ANON. 1979. Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Part 1: Rock and Soil Materials. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* **19**, 364-371.

DEARMAN, W.R. 1991. *Engineering geological mapping*, 387pp. (Butterworth- Heinemann Ltd. London).

ΙΓΜΕ 1991. *Γεωτεχνικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000, Αθήνα.*

ΚΟΥΚΗΣ, Γ. 1998. Κατολισθητικές κινήσεις και περιβάλλον. *Πρακτικά 7ου Συνέδριου της Ε.Γ.Ε., Ειδικές Δημοσιεύσεις τις Ε.Γ.Ε.* **8**, 63- 70.

ΚΟΥΚΗΣ, Γ. & ΡΟΖΟΣ, Δ. 1982. Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνίκο χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. *Ορυκτός πλούτος* **16**, 53- 69.

KOUKIS, G. & ROZOS, D. 1990. Geotechnical properties of the Neogene sediments in the NW Peloponnesus, Greece. *Proceeding of the 6th International I.A.E.G. Congress, Amsterdam* **1**, 405-412 (A.A. Balkema).

KOUKIS, G. & ROZOS, D. 1993. Mineralogical composition and texture of the Neogene sediments of the NW

Peloponnesus, Greece. *Proceeding of the Inter. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils- Soft Rocks, Athens* **1**, 195-202 (A.A. Balkema).

KOUKIS, G. & SABATAKAKIS, N. 2000. Engineering geological environment of Athens, Greece. *Bull. Eng. Geol. Env.* **59**, 127- 135.

ΚΟΥΚΗΣ. Γ., ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ, Γ. & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Ν. 1994. Τεχνικογεωλογικές- γεωτεχνικές συνθήκες της πόλης των Πατρών. *Δελτίο ΚΕΔΕ* **121-124,** 3-23.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Π. & ΞΕΙΔΑΚΗΣ, Γ. 1987. Τεχνική γεωλογία και "Γεωτεχνικός φάκελλος" μιάς πόλης. Ενα παράδειγμα για την πόλη της Ξάνθης. *Δελτίο ΚΕΔΕ* **1-2/1987**, 47-86.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., ΣΚΙΑΣ, Σ., ΔΗΜΑΛΗΣ, Α., ΑΓΓΕΛΗ, Γ. & ΜΥΡΙΣΗ, Ι. 1983. Ενας πρώτος γεωτεχνικός χάρτης της αστικής περιοχής Ξάνθης. *Δελτίο Ε.Γ.Ε.,* **XVI**, 173-181.

ΠΥΡΓΙΩΤΗΣ, Λ. 1997. *Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο Νομό Καρδίτσας. Κατολισθητικά φαινόμενα στους σχηματισμούς του φλύσχη.* Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Πατρών,Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 334.

ΡΟΖΟΣ, Δ. 1989. Τεχνικογεωλογικές συνθλήκες στο Νομό Αχαΐας- Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων. Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών, σελ. 453.

ΡΟΖΟΣ, Δ. & ΚΟΥΚΗΣ, Γ. 1991. Γεωλογική δομή και γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων του νομού Αχαΐας. *Δελτίο ΕΓΕ,* **XXV/4**, 389-404.

ROZOS, D. & KOUKIS, G 1993. Slake durability and geomechanical behaviour of the fine- grained neogene sendiments of the NW Peloponnesus, Greece. *Proceeding of the Inter. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils- Soft Rocks, Athens* **1**, 261-268, (A.A. Balkema).

ΡΟΖΟΣ, Δ., ΧΑΤΖΗΝΑΚΟΣ, Ι. & ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ, Ε. 1998. *Τεχνικογεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής της πόλης Θεσσαλονίκης, κλίμακας 1:25.000.* Δ/νση Τεχνικής Γεωλογίας, ΙΓΜΕ, Αθήνα.

TSIAMBAOS, G. & KOUKIS, G. 1990. Geotechnical conditions of the Iraclion city, Crete. *Proceeding of the 6th International I.A.E.G. Congress, Amsterdam* 2037-2042 (A.A. Balkema).

TSIAMBAOS, G., SABATAKAKIS, N. & KOUKIS, G. 1997. Engineering geological environment and urban planning of the city of Patras,Greece. *Proceeding of the International I.A.E.G. Symposium on Eng. Geol. and Env., Athens* 1527- 1534 (A.A. Balkema).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ- LEGENT

Ενότητα 1: *Αλλουβιακές αποθέσεις μικτών φάσεων.* Αναπτύσσονται στο πεδινό τμήμα, έχουν πάχος μέχρι και 550m ενώ η υδροπερατότητα, K: 10^{-2}- 10^{-4} cm/sec.
Unit 1: *Alluvial deposits of mixed phases.* They occur to the lowland part of the county with thickness up to 550m and permeability k:10^{-2}- 10^{-4} cm/sec.

Ενότητα 2: **(α)** *Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών- ρεμάτων και αποσαθρώματα των γύρω πετρωμάτων.* **(β)** *Αλλουβιακές αποθέσεις με επικράτηση των αδρομερών.* Αποτελούν προσχώσεις κοιλάδων και ριπίδια χειμάρρων. Πάχος μερικές δεκάδες μέτρα. Υδροπερατότητα, K: 10^{0}- 10^{-2} cm/sec.
Unit 2: **(α)** *Fluvial- stream deposits and the weathered mantle of the adjacent rocks.* **(β)** *Alluvial deposits mainly coarse grained.* They are formations of lowland areas- valleys and torrential fans with thickness up to some decades of meters and permeability k:10°- 10^{-2} cm/sec.

Ενότητα 3: **(α)** *Ποτάμιες αναβαθμίδες.* **(β)** *Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων.*
Unit 3: **(α)** *River terraces.* **(β)** *Screes and talus.*

Ενότητα 4: Πλειο- Πλειστοκαινικά ιζήματα (μικτών φάσεων). Μάργες, μαργαϊκοί ψαμμίτες, ψηφιδοπαγή και κροκαλοπαγή. Λιμναίες και τοπικά ποταμολιμναίες αποθέσεις.
Unit 4: *Plio- Pleistocene sediments (mixed phases).* Marls, marly sandstones, grits and conglomerates. Lacustrine and fluvio- lacustrine deposits.

Ενότητα 5: *Μολασσικοί σχηματισμοί*, θαλάσσιας έως λιμναίας προέλευσης. Αργιλοι, αργιλομάργες, μάργες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες. **(α)** *Σχηματισμός Φαναρίου.* **(β)** *Σχηματισμός Καναλίων.* **(γ)** *Σχηματισμός Μητρόπολης.* **(δ)** *Σχηματισμός Λεονταρίου.*
Unit 5: *Molassic sediments*, marine to lacustrine in origin. Clays, marls, clay marls, conglomerates, sandstones. **(α)** *Fanari formations.* **(β)** *Kanalia formations.* **(γ)** *Mitropolis formations.* **(δ)** *Leontarion formations.*

Εικόνα 1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης του Νομού Καρδίτσας.
Figure 1. Engineering geological map of Karditsa County.

Ενότητα 6: *Φλύσχης*. Ψαμμίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι, ιλυόλιθοι, κροκαλοπαγή. (α) *Δυτικής Ελλάδας*. (β) *Κεντρικής Ελλάδας*. (γ) *Ανατολικής Ελλάδας*.
Unit 6: *Flysch*. Sandstones, siltstones, shales, conglomerates. (α) *Western Greece*. (β) *Central Greece*. (γ) *Eastern Greece*.

Ενότητα 7: (α) *Μεταβατική προς το φλύσχη σειρά*, σχηματισμοί Κεντρικής Ελλάδας. Εναλλαγές ασβεστολίθων, ψαμμιτών, αργιλικών σχιστολίθων, μαργών και κερατολίθων, κροκαλο- λατυποπαγών. (β) *Πρώτος φλύσχης*, σχηματισμοί Κεντρικής Ελλάδας. Εναλλαγές ιλυολίθων, ασβεστολίθων, κερατολίθων, ψαμμιτών. (γ) *Μεταβατική προς το φλύσχη σειρά ή "Σχηματισμός Ερυθρών πηλιτών Αμυγδάλης"*, σχηματισμοί Υπερπινδικής Υποζώνης. (δ) *"Βιοτικός" φλύσχης ή κλαστικός σχηματισμός Πορτής*, σχηματισμοί Υπερπινδικής Υποζώνης.
Unit 7: (α) *Transition series towards to the flysch,* Central Greece formations. Alternations of limestones, sandstones, shales, marls and cherts, breccia- conglomerates. (β) *First flysch*, Central Greece formations. Alternations of siltstones, limestones, cherts, sandstones. (γ) *Transition series towards to the flysch or "Amygdalis red pelites formations"*, Ultra Pindic zone formations. (δ) *"Boeotian" flysch or Porti clastic formation*, Ultra Pindic zone formations.

Ενότητα 8: *Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού*. (α) *Κεντρικής Ελλάδας*. (β) *Θυμιάματος- Υπερπινδικής υποζώνης*. (γ) *Ανατολικής Ελλάδας*.
Unit 8: *Cretaceous limestones.* (α) *Central Greece*. (β) *Thymiama- Ultra Pindic zone*. (γ) *Central Greece*.

Ενότητα 9: *Ασβεστόλιθοι Τριαδικού- Ιουρασικού*. (α) *Κεντρικής Ελλάδας*. (β) *Κόζιακα- Υπερπινδικής υποζώνης*.
Unit 9: *Triassic- Jurassic limestones*. (α) *Central Greece*. (β) *Koziaka- Ultra Pindic zone*.

Ενότητα 10: *Σχιστοκερατόλιθοι*. Εναλλαγές κερατολίθων, πυριτιωμένων ιλυολίθων, αργιλολίθων, αργιλομαργαϊκών σχιστολίθων, λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων και ψαμμιτών με παρεμβολές ηφαιστειακών τόφφων κατά θέσεις.
Unit 10: *Shist- chert formations*. Alternations of chert, siliceous siltstones, claystones, marly shales, thin platy limestones and sandstones with intercalations of volcanic tuff in places.

Ενότητα 11: *Μεταμορφωμένα πετρώματα*. (α) *Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι*. (β) *Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι- μάρμαρα*
Unit 11: *Metamorphic rocks.* (α) *Crystaline schists*. (β) *Crystaline limestones- marbles*.

Ενότητα 12: *Βασικά και Υπερβασικά εκρηξιγενή πετρώματα*. (α) *Περιδοτίτες*. Σερπεντινιωμένοι περιδοτίτες. (β) *Βασάλτες*. (γ) *Διαβάσες*.
Unit 12: *Basic and Ultrabasic igneous rocks.* (α) *Peridotites*. Serpentinized peridotites. (β) *Basalts*. (γ) *Diabases*.

Ορίο λιθολογικών ενοτήτων.
Limit of lithological units.
Ισοβαθείς του υποβάθρου των Τεταρτογενών αποθέσεων στο πεδινό τμήμα του Νομού.
-100 Contours of equal depth to the bedrock under the Quaternary deposits in the lowland area of the County.

Λιθολογικές Ενότητες Lithological Units		γ_b ** gr/cm³	LL (%)	PL (%)	G gr/cm³	C_s Kg/cm²	C_t Kg/cm²	C Kg/cm²	φ_s (°)	φ_t (°)	φ (°)	q_u Kg/cm²	$Is_{(50)}$ Kg/cm²	σ_t Kg/cm²	C_c	e_0	E x10⁵ Kg/cm²	v
1	*(Λεπτομερής φάση)*	1,0-2,8	21,3-102,7	6,0-81,5	2,68-2,71	0,05-0,85	0,07-1,25	-	3-46,5	0-30,2	-	0,11-6,70	-		0,09-1,70	0,32-2,50	-	-
2,β		2,04-2,40	7-40	13,0-25,0	-	0,0-0,5	0,0-1,0	-	25-50	30-45	-	0,3-2,5	-		0,2-0,5	0,4-0,6	-	-
3,α	*(Λεπτομερής φάση)*	-	23,5-58,6	12,0-45,0	-	-	0,07-0,22	-	-	26-31	-	-	-		0,09-0,20	0,45-0,60	-	-
3,β		2,1-2,8	-	-	-	-	0,0-30,0	-	-	25-65	-	0,3-150,0	-		-	-	-	-
4		-	-	-	-	-	0,0-2,9	-	-	5-58	-	0,2-25,0	-		-	-	-	-
5,β	Ιλυόλιθοι	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340-440	-		-	-	1,3	0,8
	Κροκαλοπαγή-Ψαμμίτες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	360-750	-		-	-	2,1-4,1	0,13-0,20
5,γ	Ιλυόλιθοι	-	35,9	18,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
	Ψαμμίτες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	510-1200	8,7->90		-	-	-	-
	Κροκαλοπαγή	2,56	-	-	-	0,2-0,5	0,2-1,2		20-33	17-40	-	10-1000	3,2-72		-	-	-	-
	Τεκτονικό λατυποπαγές	2,26-2,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36-530	3,4-10	6,5-105,0	-	-	-	-
6,β	Ιλυόλιθοι	1,7-2,6	25,0-35,0	16,0-21,0	-	6,0-10,0	-	-	20-32	-	-	100-300	-		-	-	-	-
	Ψαμμίτες	1,7-2,8	-	-	-	10-200	-	-	25-45	-	-	72-1200	-	64-157	-	-	1,0-5,0	0,11-0,22
7,α	Αργιλικοί σχιστόλιθοι	-	24,7-35,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-
	Μάργες	2,26	23,4-40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08	-		-	0,35	-	-
	Ψαμμίτες	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,0-49,5		-	-	-	-
	Ασβεστόλιθοι	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	7,0-55,0		-	-	-	-
7,β		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200-700	-		-	-	0,2-0,6	-
7,δ		2,61-2,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	209	-		-	-	-	-

Πίνακας 1. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά ορισμένων από τις λιθολογικές ενότητες που συμμετέχουν στον τεχνικογεωλογικό χάρτη του νομού Καρδίτσας.
Table 1. Phycical and mechanical characterists of the main lithological unities which participate in the engineering geological map of Karditsa County.

Πίνακας 1. Συνέχεια.
Table 1.Continued.

Λιθολογικές Ενότητες Lithological Units		γ_b gr/cm^3	LL (%)	PL (%)	G gr/cm^3	C_s Kg/cm^2	C_t Kg/cm^2	C Kg/cm^2	φ_s (°)	φ_t (°)	φ (°)	q_u Kg/cm^2	$Is_{(50)}$ Kg/cm^2	σ_t Kg/cm^2	C_c	e_0	E x10^5 Kg/cm^2	v
8,α		2,5-2,7	-	-	-	-	100-300	-	-	30-45	-	200-1700	-		-	-	0,2-10	-
8,β		2,65-2,69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	128-228	-		-	-	-	-
8,γ	Λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι	-	-	-	-	-	10	-	30	32	-	80-272	-	21-27	-	-	0,42-1,60	0,09-0,22
	Πλακώδεις ασβεστόλιθοι	-	-	-	-	-	5	-	32	29	-	58-834	-	2-84	-	-	0,4-4,7	0,12-0,20
	Υλικά Πλήρωσης ασυνεχειών	2,65-2,69	32,0-36,0	19,0	-	-	0,4-0,6	-	-	17-32	-	-	-		-	-	-	-
9,α	Ασβεστόλιθοι	2,5-2,7	-	-	-	-	-	100-300	-	-	25-45	300-1200	-		-	-	0,2-10	-
	Κερατόλιθοι	2,6-2,8	-	-	-	-	-	200-300	-	-	30-48	200-1900	-		-	-	-	-
	Σχιστομαργαϊκοι σχηματισμοί	1,8-2,4	-	-	-	-	-	10-30	-	-	28-35	70-800	-		-	-	-	-
9,β		2,67-2,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350-1350	27-73		-	-	7,1-9,2	0,25-0,27
10	Αργιλικοί σχιστόλιθοι	1,7-2,2	-	-	-	-	-	5-20	-	-	30-35	70-200	-		-	-	-	-
	Κερατόλιθοι	2,5-2,8	-	-	-	-	-	200-350	-	-	30-38	100-1900	-		-	-	0,5-4,0	-
11,α		2,0-2,6	-	-	-	-	-	100-400	-	-	30-48	200-1800	-		-	-	0,4-2,5	-
11,β		2,5-2,9	-	-	-	-	-	100-300	-	-	35-45	600-2000	-		-	-	7,0-10,0	-
12,α		-	-	-	2,6-3,11	0,4-7,0	-	-	17-55	-	-	185-820	-		-	-	3,1-4,4	-
12,γ		2,36-2,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260-400	15,1-36,8	47-90	-	-	-	-

**: Η αντιστοιχία των συμβολισμών με τους σχηματισμούς δίνεται στο υπόμνημα.*
***: γ_b: Υγρό φαινόμενο βάρος, LL: Οριο υδαρότητας, PL: Οριο πλαστικότητας, c: Συνοχή από τριαξονική δοκιμή (c_t) και άμεση διάτμηση (c_s), φ: Γωνία τριβής από τριαξονική δοκιμή (φ_t) και άμεση διάτμηση (φ_s), q_u: Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, $Is_{(50)}$: Δείκτης σημειακής φόρτισης, σ_t: Αντοχή σε εφελκυσμό, Cc: Δείκτης συμπιεστότητας, e_0: Αρχικός λόγος κενών, E: Μέτρο ελαστικότητας, v: Λόγος του Poisson.*

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1715-1722, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1715-1722, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΛΟΥΡΔΑΤΩΝ Ν. ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ*

Δ. ΡΟΖΟΣ[1], Ε. ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στον παράλιο οικισμό των Λουρδάτων στην Κεφαλλονιά, έχουν σημειωθεί κατά καιρούς αστοχίες πρανών. Οι πλέον πρόσφατες προκαλούν ανησυχίες στους κατοίκους, καθώς σε μια από τις τρεις θέσεις εκδήλωσης ήδη προσεγγίζουν το χώρο θεμελίωσης κατοικιών. Για τη μελέτη των αστοχιών αυτών εξετάσθηκαν οι γεωμορφολογικές συνθήκες, η σεισμικότητα, η τεχνικογεωλογική διάρθρωση, καθώς και το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής, με επιτόπιες εξετάσεις και εκτέλεση γεωτρητικού προγράμματος. Το τελευταίο βοήθησε στη γνώση των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών μέχρι του βάθους των 30 μέτρων περίπου και κατ' επέκταση στην ανάλυση ευστάθειας πρανών που πραγματοποιήθηκε με χρήση ειδικού λογισμικού. Έτσι, έγινε κατανοητός ο μηχανισμός εκδήλωσης των αστοχιών και επιλέχθηκαν τα κατάλληλα μέτρα σταθεροποίησης, με σκοπό την προστασία του οικισμού.

ABSTRACT

The present study refers to the determination and the full examination of the slope failures, which were manifested at Lourdata village of Kephallonia island, and especially at the nearby slopes of the inhabited area.

Lourdata village is located south-east of Argostoli, the capital of Kephallonia in the south coast of the island at an altitude ranging between 40 and 100m. The whole area is a part of the southern abutment of Ainos, the main Mountain of Kephallonia island, while two hydrographic axes, which formulate usually steep slopes, dominate in the village area.

Referring to seismicity of the area, Kephallonia is one of the Eptanissa islands and is considered to be of the most seismogenic parts of the Greek territory. It belongs to the IV category of seismic risk, characterised by a general seismic acceleration equal to 0.36g.

From the geological point of view, the wider area of Lourdata village consists of Neogene deposits (marls and clayey marls), which are very susceptible to weathering and are usually covered by thick weathering mantle. Diluvial conglomerates at the top of the hills overlay the neogene deposits, while both formations are locally covered by lateral screes. These screes are products of erosion and weathering processes of carbonate rocks, which outcrop north to Lourdata inhabited area, consisting the south slopes of Ainos mountain.

As carbonate rocks, which are formation with secondary permeability, sink southwards below the neogene sediments (impermeable formations), overflow springs are developed at some places along their contact. Small season springs and seepage appear at the contact between neogene deposits and conglomerates. The water from those springs and seepage saturate the loose materials of weathering mantle of the Neogene deposits, conglomerates as well as screes, increasing their pore water pressure.

The combination of the aforementioned geomorphological, seismological, geological and hydrogeological conditions favour the manifestation of slope failures (old and new). The causes of new failures, which are manifested in three different places very near to the inhabited area, are examined in this study.

To this direction and for the better understanding of the engineering geological conditions in the area where slope failures were manifested, 5 sampling boreholes were drilled, up to the depth of 30m.

Based on the results of the drilling programme, as well as on the engineering–geological approach, the geological formations which structure the examined area were distinguished into seven (7) engineering geological types.

The site investigation, as well as the subsequent slope stability analyses using the appropriate software, helped in the study of the geomechanical characteristics of the formations involved and in the clarification of the instability causes in the area under study.

* SLOPE FAILURES IN LOURDATA VILLAGE OF KEPHALLONIA ISLAND, GREECE

1. IGME, 70 Messogion Ave., Athens

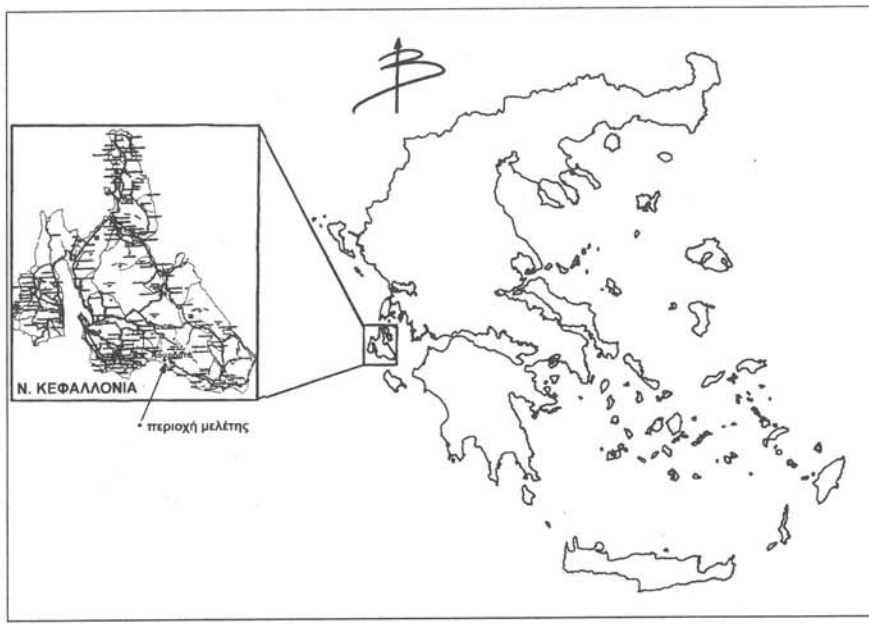
Thus, the necessary information for the understanding of the failure mechanism as well as the selection of the suitable remedial and stabilization measures were gained in order to protect the inhabited area from further catastrophic failures.

KEY WORDS: Lourdata village, Neogene deposits, Marls - Clayey marls, Slope failures, Geotechnical investigation, Slope stability analysis, Failure mechanism, Remedial measures.
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Οικισμός Λουρδάτων, Νεογενείς αποθέσεις, Μάργες - Αργιλομάργες, Αστοχίες πρανών, Γεωτεχνική έρευνα, Ανάλυση ευστάθειας πρανών, Μέτρα αποκατάστασης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ- ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

Ο οικισμός των Λουρδάτων εντοπίζεται νοτιοανατολικά του Αργοστολίου, στη νότια πλευρά της νήσου Κεφαλληνίας (Σχήμα 1), αναπτύσσεται δε σε ΝΔ/κό αντέρεισμα του όρους Αίνου ανάντι της παράκτιας ζώνης και σε υψόμετρο από 40 έως 100 m περίπου. Ο χώρος ανάπτυξης του οικισμού παρουσιάζει μέτριες έως ισχυρές κλίσεις, που γενικά είναι ηπιότερες στο δυτικό τμήμα αυτού, ενώ αυτές του κεντρικού και ανατολικού τμήματος είναι ισχυρότερες.

Δύο υδρογραφικοί άξονες, με διεύθυνση περίπου Β-Ν, βοηθούν στην απορροή των επιφανειακών νερών στην περιοχή του οικισμού, ο μικροχείμαρρος "Βρύση", στο κεντρικό τμήμα του οικισμού και ο "μεγάλος χείμαρρος" στα δυτικά αυτού. Οι άξονες αυτοί διαμορφώνουν πρανή με ισχυρές κλίσεις, αλλά γενικά όχι μεγάλου ύψους.



Σχήμα 1. Χάρτης εντοπισμού της περιοχής μελέτης.
Figure1. Location map of the study area.

2. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η νήσος Κεφαλλονιά, κατά το μεγαλύτερό της μέρος, δομείται από πετρώματα της Προαπούλιας γεωτεκτονικής ζώνης (ή ζώνης Παξών) και μόνο στο ΝΑ/κό τμήμα της, όπου και η περιοχή έρευνας, απαντούν πετρώματα της Ιονίου ζώνης, τα οποία είναι επωθημένα πάνω στα Μειοκαινικά στρώματα της ζώνης Παξών.

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη Παξών και γεωλογικά δομείται από ιζήματα του Ανώτερου Ολιγόκαινου έως Ανώτερου Μειόκαινου. Ειδικότερα, ο οικιστικός χώρος, αλλά και η ευρύτερη περιοχή των Λουρδάτων, γεωλογικά δομούνται από νεογενή ιζήματα (μάργες και αργιλομάργες), τα οποία αποσαθρώνονται εύκολα και συνήθως δίνουν παχύ μανδύα. Γενικά, οι σχηματισμοί αυτοί του Νεογενούς διακρίνονται σε δύο επιμέρους φάσεις που εναλλάσσονται. Η πρώτη, που είναι καστανοκίτρινου έως τεφροκίτρινου χρώματος

και η δεύτερη, που είναι τεφρού έως μελανότεφρου χρώματος.

Στις κορυφές των αντερεισμάτων και γενικά κατά μήκος της επαφής νεογενών και ανθρακικών ιζημάτων, οι σχηματισμοί καλύπτονται από ποικίλου πάχους διλουβιακά κροκαλοπαγή, το μέγιστο πάχος των οποίων είναι της τάξης των λίγων δεκάδων μέτρων. Τα κροκαλοπαγή σε πολλές θέσεις καλύπτονται από χαλαρά πλευρικά κορήματα, ορατού πάχους 2-5m.

Από πλευράς τεκτονικής, κυρίαρχο γεγονός στον ευρύτερο χώρο έρευνας κατά το Κατώτερο Πλειόκαινο ήταν η επώθηση των σχηματισμών της Ιονίου ζώνης στο θεωρούμενο αύτοχθον σύστημα της ζώνης Παξών και η επαναδραστηριοποίηση παλαιότερων συνιζηματογενών κανονικών ρηγμάτων σαν ανάστροφα - εφιππευτικά ρήγματα (B.P., 1966, Jenkins D., 1972, Sorel D., 1976, Νικολάου Κ., 1986, κ.ά.).

Όσον αφορά στην τεκτονική της ευρύτερης περιοχής μελέτης, σημειώνεται η παρουσία μειζόνων τεκτονικών διαρρήξεων (ρηγμάτων) με διεύθυνση κυρίως ΒΔ/κή - ΝΑ/κή και ΒΑ/κή - ΝΔ/κή. Σε αυτές και κυρίως στις δεύτερες, εντάσσονται τα ρήγματα εκείνα που διαμορφώνουν τα όρια των τεκτονικών λεκανών απόθεσης των νεογενών ιζημάτων, που επικρατούν στην παραλιακή ζώνη που εξετάζεται.

Από πλευράς σεισμικότητας, ο ευρύτερος χώρος της Κεφαλλονιάς, δηλαδή αυτός των Επτανήσων, θεωρείται από τους πλέον σεισμογενείς στον Ελληνικό χώρο. Καθώς η περιοχή βρίσκεται κάτω από καθεστώς συμπιεστικών τάσεων, εκδηλώνονται έντονα σεισμικά γεγονότα. Έτσι, το σεισμικό της παρελθόν είναι πλούσιο (Παπαζάχος Β, Παπαζάχου Κ.,1989), με μεγαλύτερο σεισμό στον παρόντα αιώνα αυτόν της 12^{ης} Αυγούστου 1953 (μέγεθος Ms=7,2 βαθμοί της κλίμακας Richter), που προξένησε τεράστιες καταστροφές στο νησί.

Τέλος, ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ε.Α.Κ., 2000) κατατάσσει την περιοχή μελέτης στην κατηγορία IV ζώνης σεισμικής επικινδυνότητας, με σεισμική επιτάχυνση εδάφους A = 0,36 g.

3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

Το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο νησί, έχει τιμή 820,0 mm, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση παρατηρείται το διάστημα Οκτωβρίου - Απριλίου, με ετήσιο ποσοστό 89,9%. Επίσης, η μάλλον αυξημένη τιμή του μέσου ετήσιου θερμοκρασιακού εύρους (8,2° C) διευκολύνει την αποσάθρωση των πετρωμάτων με μικρή θερμοχωρητικότητα, όπως είναι οι αργιλικής και μαργαϊκής σύστασης σχηματισμοί, που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης. Έτσι δημιουργούνται στα νεογενή ιζήματα συνθήκες που οδηγούν, εφόσον συνηγορούν και άλλοι παράγοντες, όπως ισχυρές κλίσεις πρανών, παρουσία πηγών κλπ, στην εκδήλωση αστοχιών πρανών.

Αναφορικά με το υδρογεωλογικό καθεστώς, οι ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται σαν δευτερογενώς περατοί σχηματισμοί, κυρίως λόγω της ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης. Επίσης, περατοί σχηματισμοί θεωρούνται τα κορήματα και τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των νεογενών ιζημάτων. Αντίθετα, τα νεογενή ιζήματα στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί χαμηλής περατότητας έως πρακτικά στεγανοί. Έτσι δημιουργούνται σημαντικές πηγές υπερπλήρωσης σε διάφορες θέσεις, όπως αυτή στο κέντρο του χωριού με την ονομασία "Βρύση". Πέρα από αυτές τις σημαντικές πηγές, στην ευρύτερη περιοχή που ερευνήθηκε, σημειώνεται μεγάλος αριθμός εποχιακών μικροπηγών και σημαντικών εκροών, στην επαφή των κροκαλοπαγών με τις υποκείμενες αργιλομάργες των νεογενών. Τα νερά όλων αυτών των πηγών, μικροπηγών και εκροών, ρέουν χωρίς διευθέτηση προς τα κατάντι, φορτίζοντας έτσι πρόσθετα τα κατά περίπτωση χαλαρά υλικά του μανδύα των νεογενών, των κροκαλοπαγών-νεογενών, των κορημάτων ή και των ανάμικτων φάσεων αυτών.

4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Για την πληρέστερη κατανόηση των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα γεωτρητικού προγράμματος (διανοίχτηκαν πέντε (5) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις).

Τα αποτελέσματα των δοκιμών υδροπερατότητας (Maag) επιβεβαιώνουν τις επιτόπιες παρατηρήσεις, δηλαδή ότι τα υλικά της ζώνης έντονου κερματισμού και αποσάθρωσης χαρακτηρίζονται σαν *χαμηλής έως μέσης υδροπερατότητας* σχηματισμοί, ενώ οι μαργαϊκοί-αργιλομαργαϊκοί σχηματισμοί των νεογενών σαν *πολύ χαμηλής υδροπερατότητας* σχηματισμοί.

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης που πραγματοποιήθηκε στους αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς, ο αριθμός των κρούσεων χαρακτηρίζει *σκληρό* σχηματισμό, με εκτιμώμενη (βιβλιογραφικά) αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, που κυμαίνεται από 4,00 έως 8,00 kg/cm^2 (Λοΐζος Α., 1985).

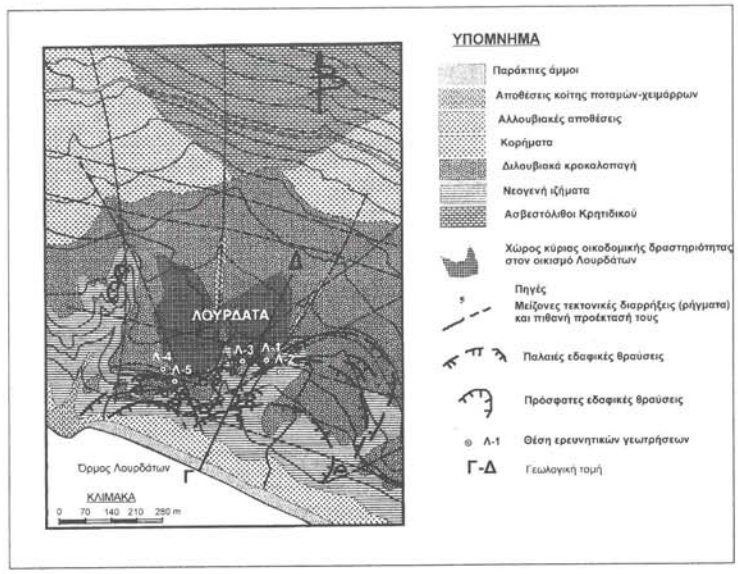
Με βάση τα πορίσματα της γεωτεχνικής έρευνας, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή μελέτης, διακρίθηκαν σε επτά (7) τεχνικογεωλογικές ενότητες, σύμφωνα με τον οδηγό της UNESCO-IAEG, 1976 (Σχήμα 2). Οι τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των τύπων αυτών, είναι οι ακόλουθοι:

Παράκτιες άμμοι: Άμμοι, ψηφίδες και χάλικες ποικίλου μεγέθους, που καλύπτουν τμήματα της παράκτιας ζώνης της περιοχής. Σχηματισμός μικρού γενικά πάχους (1-3m), συνήθως πτωχά διαβαθμισμένος, με μεγάλο πορώδες και μηδενική συνοχή.

Αποθέσεις κοίτης ποταμών – χειμάρρων: Ψηφίδες, κροκάλες, ογκόλιθοι, κροκαλοπαγή, ανθρακικής κυρίως προέλευσης και λίγες άμμοι. Γενικά το πάχος τους είναι μικρό και μόνο στο δέλτα του κύριου υδρορέματος αποκτούν μεγάλο πάχος (7-8m).

Αλλουβιακές αποθέσεις: Αμμοϊλυώδη υλικά με μικρό ποσοστό ψηφίδων και χαλίκων ψαμμιτικής – ασβεστολιθικής σύστασης, μεγέθους έως 4cm. Χαλαρός σχηματισμός, με πάχος 2-5m και πιθανώς μεγαλύτερο στις παράκτιες επίπεδες εκτάσεις.

Κορήματα: Γωνιώδη θραύσματα, κύρια ανθρακικής προέλευσης, ποικίλων διαστάσεων, καστανέρυθρου χρώματος, ημισυνεκτικά, με λεπτές παρεμβολές αργιλικών υλικών. Το ορατό τους πάχος είναι της τάξης των 10m.



Σχήμα 1. Τεχνικογεωλογικός χάρτης περιοχής Λουρδάτων.
Figure 1. Engineering geological map of Lourdata area.

Διλουβιακά κροκαλοπαγή: Χαλαρός έως ημισυνεκτικός σχηματισμός με συμμετοχή αδρομερών και λεπτομερών υλικών σε ίσα περίπου ποσοστά (50%). Τα αδρομερή υλικά είναι κυρίως χάλικες, κροκάλες και σπανιότερα ογκόλιθοι, ενώ η λεπτομερής συνδετική ύλη αποτελείται από ερυθρού χρώματος ιλυοαμμώδη έως αμμοϊλυώδη υλικά. Το πάχος του σχηματισμού αναμένεται της τάξης των λίγων δεκάδων μέτρων.

Νεογενή ιζήματα: Διακρίνονται σε δύο φάσεις που εναλλάσσονται:

Α) Φάση των καστανοκίτρινων μαργών: Περιέχει χάλικες, κροκάλες, λεπτές φακοειδείς ψαμμιτικές ενστρώσεις, ασβεστιτικά συγκρίματα και κελύφη οστράκων. Αποτελούν σχηματισμό ημισυνεκτικό έως στιφρό, πολύ χαμηλής έως χαμηλής υδροπερατότητας και μικρής έως μέσης πλαστικότητας. Στην ευρύτερη περιοχή το πάχος των οριζόντων της φάσης αυτής φτάνει τα 15m.

Β) Φάση των μελανότεφρων μαργών: Περιλαμβάνει υλικά αμμοϊλυώδους σύστασης, ευαποσάθρωτα και εύκολα ρευστοποιούμενα, με σημαντικό ποσοστό ασβεστιτικών συγκριμάτων και κελύφη οστράκων. Πρόκειται για σχηματισμό ημισυνεκτικό έως συνεκτικό κατά θέσεις, πολύ χαμηλής έως χαμηλής υδροπερατότητας και μικρής έως μέσης πλαστικότητας. Το πάχος των οριζόντων της φάσης αυτής ξεπερνά τα 20m.

Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού: Κιτρινότεφρου χρώματος, μέτρια έως ισχυρά κερματισμένοι και μέτρια αποκαρστωμένοι, με δακτυλιογλυφές και μικρά καρστικά έγκυλα. Σχηματισμός δευτερογενώς υδροπερατός, λόγω κερματισμού και καρστικότητας.

Τέλος, από την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών σε επιλεγμένα δείγματα από διάφορα βάθη σε όλες τις γεωτρήσεις, διαμορφώθηκαν τα εύρη τιμών για τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά, των δύο διακριτών φάσεων των νεογενών ιζημάτων, που δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Εύρη τιμών των κύριων φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των δύο φάσεων των νεογενών ιζημάτων.

Table 1. Rages of values of the main physicomechanical characteristics of the two phases of the neogene deposits.

Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά ενοτήτων νεογενών σχηματισμών	Ενότητα καστανοκίτρινων μαργών	Ενότητα μελανότεφρων μαργών
Όριο Υδαρότητας	27,70-53,90 %	26,70-44,70 %
Δείκτης Πλαστικότητας	7,70-31,10 %	2,40-24,20 %
Φυσική Υγρασία	15,80-24,70 %	13,70-23,40 %
Υγρό Φαινόμενο Βάρος	1,87-3,05 gr/cm^3	1,98-2,34 gr/cm^3
Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	1,60-2,51 gr/cm^3	1,63-1,99 gr/cm^3
Ειδικό Βάρος	2,67-2,70	2,68-2,70
Λόγος Κενών	0,07-0,68	0,36-0,66
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη	1,19-7,00 kg/cm^2	1,06-5,86 kg/cm^2
Συνοχή (άμεση διάτμηση)	0,06-1,01 kg/cm^2	0,07-0,83 kg/cm^2
Γωνία τριβής (άμεση διάτμηση)	13,5°-39,5°	10,2°-42,9°
Δείκτης συμπιεστότητας	0,056-0,135	0,051-0,125

5. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ

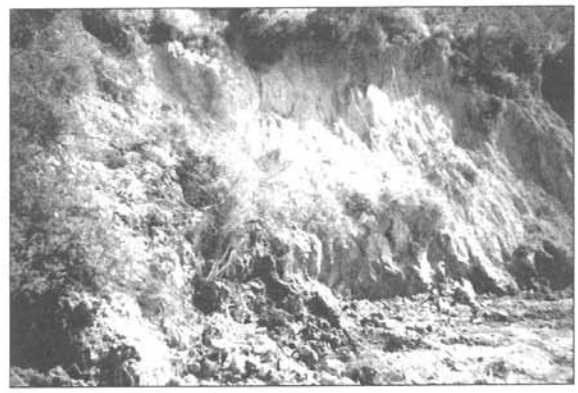
Η ύπαρξη των χαλαρών ετερογενών υδροπερατών υλικών πάνω στους πρακτικά αδιαπέρατους μαργαϊκούς-αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς του νεογενούς, σε συνδυασμό με την μορφολογία και τον ισχυρό διαποτισμό τους μέχρι κορεσμό (κυρίως από τα νερά της βροχής, αλλά και των πηγών) διαμορφώνει συνθήκες αστάθους ισορροπίας, με αποτέλεσμα την εκδήλωση αστοχιών στα πρανή.

Στην περιοχή του οικισμού Λουρδάτων, εντοπίστηκαν τρεις κυρίως θέσεις αστοχιών πρανών (Σχήμα 2). Από τις θέσεις αυτές η πρώτη αναφέρεται σε αστοχίες που προέκυψαν από την σχετικά πρόσφατη διάνοιξη κοινοτικού χωμάτινου δρόμου στο πρανές που διαμορφώνεται στη θέση Πλαγιές, στα νοτιοδυτικά του οικισμού. Οι άλλες δύο αφορούν επαναδραστηριοποίηση και επέκταση παλαιοτέρων αστοχιών στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα του οικισμού. Αναλυτικότερα, για κάθε θέση εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων σημειώνονται τα ακόλουθα:

Θέση 1η. Στο πρανές της θέσης "Πλαγιά" (που δομείται από τεφρές έως μελανότεφρες μάργες του νεογενούς, ο παχύς μανδύας των οποίων αναμιγνύεται, στα ανώτερα τμήματα του πρανούς, με πλευρικά κορήματα) έχουν σημειωθεί στο παρελθόν αστοχίες, που οριοθετούνται από τις εκβολές του "μεγάλου χειμάρρου" στα Δ/κά του οικισμού, φθάνουν μέχρι το ύψος του δεύτερου ελιγμού του χωμάτινου δρόμου που οδηγεί στην παραλία και καταλήγουν στο κύριο ρέμα της "Βρύσης".

Αντίθετα, τα νέα φαινόμενα που σημειώνονται είναι μικρής έκτασης, συνδέονται με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (όπως π.χ. διανοίξεις δρόμων) και με τον υπάρχοντα φρεάτιο ορίζοντα, ενώ προς το παρόν εντοπίζονται σε *τέσσερις* κυρίως θέσεις χωρίς να ενοποιούνται σε μεγάλες ζώνες αστοχιών. Εξ αυτών, οι τρεις σχετίζονται άμεσα με τη διαμόρφωση του κοινοτικού δρόμου, ο οποίος με δύο κλειστούς ελιγμούς καταλήγει στην παραλιακή ζώνη (Φωτ. 1), ενώ η άλλη εντοπίζεται ανατολικότερα σε αγροτική έκταση. Οι αστοχίες στο δρόμο αφορούν εδαφικές θραύσεις στα επιχώματα, στα υλικά αποσάθρωσης των μαργών, καθώς και στην επαφή κροκαλοπαγών – μαργών. Η εκτός του δρόμου αστοχία αποτελεί εδαφική θραύση μικρών διαστάσεων που έχει εκδηλωθεί στα χαλαρά υλικά της ζώνης αποσάθρωσης και κερματισμού των μαργών.

Τα *αίτια* εκδήλωσης των αστοχιών στο χώρο του δρόμου είναι κατά περίπτωση, η δράση των επιφανειακών νερών που ρέουν χωρίς διευθέτηση, η ισχυρή κλίση του φυσικού πρανούς, η κυκλοφορία του υπόγειου νερού στην επαφή κροκαλοπαγών-νεογενών, η δράση των επιφανειακών νερών που ρέουν χωρίς διευθέτηση προκαλώντας ρευστοποιήσεις, και τέλος οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διάνοιξη δρόμου, επιχωματώσεις αυτού κλπ). Τέλος, η εκτός δρόμου αστοχία οφείλεται στο συνδυασμό της απότομης μορφολογίας με τον συνεχή εμποτισμό των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης των μαργών από το υπόγειο νερό που εκρέει στην ανάντι της αστοχίας επαφή κροκαλοπαγών-νεογενών, αλλά κυρίως του νερού των έντονων βροχοπτώσεων που προκαλεί ρευστοποιήσεις και επιφέρει αστοχίες των υλικών στον υπόψη χώρο.



Φωτ. 1. Αστοχία στο τεχνητό πρανές του δρόμου (1η θέση).
Photo 1. Failure at the artificial slope of the road (1st place).

Θέση 2η. Η δεύτερη θέση αστοχιών εντοπίζεται στο ανατολικό πρανές του ρέματος "Βρύσης". Πρόκειται για εδαφική θραύση και ολίσθηση η οποία φαίνεται να εκδηλώνεται στα υλικά της ζώνης αποσάθρωσης και κερματισμού των μαργών, που δομούν το εκεί διαμορφούμενο αντέρεισμα, στα ανάντη τμήματα του οποίου εντοπίζεται η επαφή κροκαλοπαγών και νεογενών. Η αστοχία αυτή, που είναι πεταλοειδούς μορφής, έχει εκδηλωθεί με πλάτος κεφαλής περίπου 30-40m και μήκος διαταραχής 60 m περίπου και σήμερα η οριακή της θραύση βρίσκεται στο υψόμετρο των 65m περίπου και απειλεί οικία που είναι θεμελιωμένη εκεί (Φωτ. 2).

Κύριες *αιτίες* εκδήλωσης της αστοχίας αυτής φαίνεται ότι είναι η υποσκαφή του πρανούς του ρέματος από τα επιφανειακά νερά, αλλά και αυτά της πηγής "Βρύσης" που είναι συνεχούς ροής και παρουσιάζει μεγάλη παροχή και ο συνεχής εμποτισμός των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης των νεογενών από τη δράση του νερού των εκροών-μικροπηγών της επαφής κροκαλοπαγών-νεογενών, αλλά και τα νερά οικιακής χρήσης από παρακείμενο σπίτι, που χύνονται ανεξέλεγκτα στον αγρό αμέσως ανάντι της οριακής θραύσης της υπόψη αστοχίας.

Θέση 3η. Η θέση αυτή εντάσσεται σε μία ζώνη παλαιών εκτεταμένων κατολισθητικών φαινομένων που είχαν στο παρελθόν επηρεάσει το πρανές της υπόψη θέσης, καθώς και τις ΝΑ/κές απολήξεις του οικισμού, μέχρι του υψομέτρου των 80m περίπου.

Πρόκειται για διαδοχικές εδαφικές θραύσεις πεταλοειδούς μορφής, οι οποίες εκδηλώνονται σε κλιμακωτή διάταξη στα υλικά της ζώνης αποσάθρωσης και κερματισμού των νεογενών ιζημάτων, που δομούν το εκεί διαμορφούμενο αντέρεισμα.

Κύρια *αιτία* εκδήλωσης των διαδοχικών αστοχιών στο υπόψη πρανές, φαίνεται ότι είναι ο συνεχής και μέχρι πλήρους κορεσμού εμποτισμός των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης των νεογενών από τα νερά των εκροών-μικροπηγών της επαφής κροκαλοπαγών-νεογενών, τα οποία ρέουν ανεξέλεγκτα επιφανειακά χωρίς καμιά διευθέτηση.

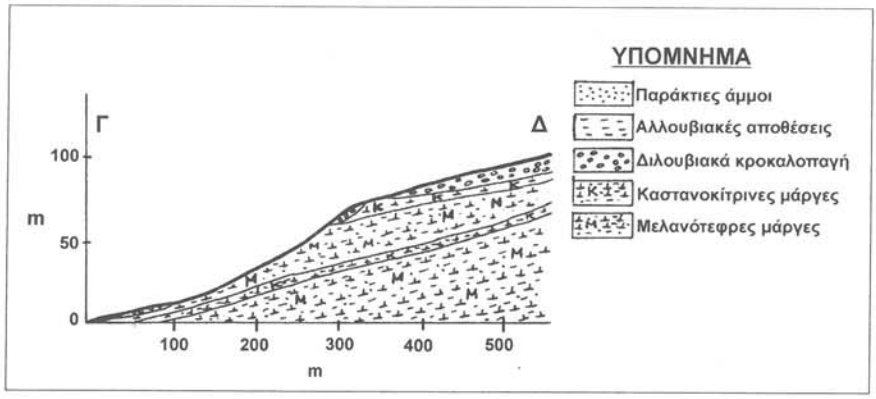
Φωτ. 2. Άποψη της κατολίσθησης στο Α/κό πρανές του κεντρικού ρέματος (2η θέση).
Photo 2. Landslide view of the Eastern slope of the main ravine (2nd place)

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ

Με βάση τα ανωτέρω κρίθηκε σκόπιμο, με χρησιμοποίηση των δεδομένων της γεωτεχνικής έρευνας, να γίνει ανάλυση ευστάθειας σε δύο θέσεις πρανών με χρήση κατάλληλου λογισμικού.

Η ανάλυση ευστάθειας πρανών περιέλαβε, εκτός από τις γεωτεχνικές παραμέτρους, όπως αυτές καθορίσθηκαν από τις εργασίες πεδίου και τις εργαστηριακές δοκιμές, τον απαραίτητο συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης (α), ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση ελήφθη ίσος με 0,36 g (Κατηγορία Σεισμικής Επικινδυνότητας IV, σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ., 2000). Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση ευστάθειας πρανών είναι το πρόγραμμα Larix-3 της εταιρείας Cubus Hellas.

Ενδεικτική γεωλογική τομή που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή του σχετικού λογισμικού, δίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Ενδεικτική γεωλογική τομή στα Α/κά-ΝΑ/κά της οικιστικής περιοχής.
Figure 3. Geological cross-section in the E-SE part of the main dwelling area.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της παραπάνω ανάλυσης (Πίνακας 2) προέκυψε συντελεστής ασφάλειας του πρανούς, που για μεν το πρανές του κοινοτικού χωμάτινου δρόμου που οδηγεί στην παραλία (τομή Α-Β) κυμαίνεται από 0,70 (στην χειρότερη περίπτωση) έως 1,29 (στην καλύτερη περίπτωση), για δε το πρανές Α/κά-ΝΑ/κά της κεντρικής οικιστικής περιοχής (τομή Γ-Δ) κυμαίνεται από 0,70 (στην χειρότερη περίπτωση) έως 1,71 (στην καλύτερη περίπτωση).

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Ανάλυσης Ευστάθειας Πρανών.
Table 2. Slope stability analysis results.

Τμήμα	Συντελεστής ασφάλειας υπό ξηρές συνθήκες	Συντελεστής ασφάλειας υπό υγρές συνθήκες	Συντελεστής ασφάλειας υπό ξηρές συνθήκες και σεισμό	Συντελεστής ασφάλειας υπό υγρές συνθήκες και σεισμό
Τομή Α-Β	1,29	1,06	0,92	0,70
Τομή Γ-Δ	1,71	1,22	1,10	0,70

Σύμφωνα με τα δεδομένα των αναλύσεων των διαφόρων σεναρίων, οι θραύσεις φαίνεται να επηρεάζουν και τις μάργες, ενώ σε τμήματα των υπό εξέταση περιοχών μπορεί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις (κυρίως σενάριο με υγρές συνθήκες και σεισμό) να εκδηλωθούν βαθύτερες και πλέον εκτεταμένες κατολισθητικές κινήσεις.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Με βάση τις παραπάνω αναφορές, στον οικισμό των Λουρδάτων της Κεφαλλονιάς διαπιστώνεται η παρουσία πρόσφατων αστοχιών πρανών σε τρεις κυρίως θέσεις, που εντοπίζονται στις νότιες απολήξεις του οικοδομικού χώρου.

Για την προστασία της οικιστικής περιοχής και την αντιμετώπιση των εκδηλωθέντων κατολισθητικών κινήσεων, καθώς επίσης την αποφυγή μελλοντικής επέκτασης των φαινομένων αυτών, με πρόκληση ζημιών σε κατασκευές, προτείνονται, με βάση τη φύση των παραγόντων που συμμετέχουν στην εκδήλωση των φαινομένων, αλλά και το μηχανισμό εκδήλωσης αυτών, συγκεκριμένα μέτρα προστασίας. Τα ***μέτρα*** αυτά είναι τα εξής:

- Διευθέτηση των επιφανειακών νερών στο χώρο του οικισμού, με την κατασκευή επενδεδυμένης αύλακας στο εσωτερικό τμήμα όλων των δρόμων της οικιστικής περιοχής, για την παροχέτευσή τους εκτός οικιστικής περιοχής στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα). Όλες οι αύλακες πρέπει περιοδικά να καθαρίζονται και να εξασφαλίζεται η συνεχής και σωστή λειτουργία τους.
- Συγκέντρωση-υδρομάστευση των νερών όλων των πηγών και εκροών που αναβλύζουν και την κατάλληλη (στεγανή) παροχέτευσή τους στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα).
- Κατασκευή στραγγιστηρίων, για την ταπείνωση του εποχιακού υδροφόρου ορίζοντα και την παροχέτευση όλων των νερών στους φυσικούς άξονες απορροής. Αυτά θα κατασκευάζονται με βαθειά θεμελίωση στο εσωτερικό των τμημάτων του οδικού δικτύου που έχουν επηρεαστεί από τις πρόσφατες αστοχίες. Κατάλληλη στεγανή επένδυση (π.χ. από γεωμεμβράνη) θα τοποθετείται στη βάση τους και στο κατάντι τμήμα της διατομής τους, σε συνδυασμό με την κατασκευή επενδεδυμένης αύλακας επιφανειακά. Το έργο αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για τον κεντρικό δρόμο του χωριού όπου υπάρχουν οικίες, οι οποίες, εφ' όσον οι αστοχίες εξελιχθούν, θα υποστούν και αυτές τις συνέπειές τους.
- Εγκιβωτισμός της κοίτης του κεντρικού ρέματος της "Βρύσης" και προστασία των πρανών αυτού με την τοποθέτηση εύκαμπτων κατασκευών (π.χ. συρματοκιβωτίων) σε κλιμακωτή διάταξη, σε συνδυασμό με την κατασκευή μικρών δασοτεχνικών φραγμάτων εγκάρσια της κοίτης αυτού. Έτσι θα αποφεύγεται η διάβρωση των πρανών και κατ' επέκταση η εκδήλωση των αστοχιών.
- Κατασκευή, μέσα στην διαταραγμένη ζώνη της τρίτης θέσεις αστοχιών, τάφρου αποστράγγισης με διαβαθμισμένο υλικό και με τη μορφή "ψαροκόκαλου". Η τάφρος αυτή θα απάγει όλα τα νερά προς τα κατάντι στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα).
- Τοπικές αντιστηρίξεις πρανών δρόμων στα οποία έχουν εκδηλωθεί αστοχίες, με εύκαμπτες κατασκευές (π.χ. συρματοκιβώτια) σε κλιμακωτή διάταξη και με βαθειά θεμελίωση.
- Πυκνή δενδροφύτευση (με βαθύρριζα και γρήγορα αναπτυσσόμενα δένδρα) των διαταραγμένων ζωνών του πρανούς, για την προστασία από μελλοντικές κατολισθητικές κινήσεις.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

B. P. Co LTD, (1966): *Γεωλογικός χάρτης Κεφαλλονιάς*, κλίμακας 1:100.000

B. P. Co LTD, (1966): *Γεωλογικά αποτελέσματα εκ της ερεύνης δι' αναζήτησιν πετρελαίων εις Δυτικήν Ελλάδα*, Έκδοση ΙΓΜΕ, Νο 10, 73 σελίδες, Αθήνα.

Commission of Engineering Geological Mapping of the IAEG (1979,1981): *Classification of rocks and soils for Engineering Geological mapping*. Bulletin of IAEG, Vol. 19, pp. 364-371 & Vol. 24, pp. 235-274, Krefeld Germany.

ΙΓΜΕ (1985): *Γεωλογικός χάρτης Κεφαλλονιάς*, κλίμακας 1:50.000.

JENKINS D.A. (1972): *Structural development of Western Greece*, A.A.P.G. 56/1 pp. 128-149,

ΛΟΪΖΟΣ Α. (1985): Εδαφομηχανική-θεμελιώσεις, Έκδοση ΕΜΠ, 494 σελίδες, Αθήνα.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1986): *Συμβολή στη γνώση του νεογενούς και της γεωλογίας και οριοθέτησης των ζωνών Ιόνιας και Προαπούλιας σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο, Κεφαλληνία*. Διδακτορική διατριβή Πανεπιστημίου Αθηνών, 228 σελίδες, Αθήνα.

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β., ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Εκδόσεις Ζήτη, σελίδες 356, Θεσσαλονίκη.

SOREL D. (1976): *Etude Nθotectonμque dans l' arc Egθen externe occidental:les iles de Cephalonie et Zanthe et l'Elide occidentale.* Univ. Paris XI, Sud-Orsay, Thθse 3θme cycle, 196 pp, Paris.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.- Ο.Α.Σ.Π. (2000): *Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός (Ε.Α.Κ.-2000),* 152 σελίδες, Αθήνα.

UNESCO / IAEG, 1976. *Engineering geological maps*. A guide to their preparation, The UNESCO Press, Paris, 79 p.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1723-1731, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1723-1731, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΡΑΝΗ: ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ, Δ. ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ*

Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ[1], Β. ΛΥΚΟΥΣΗΣ[1], Γ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ[1] & Π. ΓΕΩΡΓΙΟΥ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Γεωτεχνικά δεδομένα από το χερσαίο πρανές της περιοχής της Παναγοπούλας και γεωλογικά – γεωφυσικά δεδομένα από το υποθαλάσσιο πρανές έδειξαν ότι το εν λόγω πρανές λειτουργεί ενιαία. Από τα υποθαλάσσια στοιχεία προκύπτει ότι οι κύριες επιφάνειες ολίσθησης εντοπίζονται στην επαφή μεταξύ των αλπικών ασβεστολίθων και των πλευρικών κορημάτων αφενός και μεταξύ των πλευρικών κορημάτων και των θαλάσσιων τουρβιδιτικών αποθέσεων αφετέρου. Στο χερσαίο πρανές οι ολισθήσεις εντοπίζονται μέσα στα πλευρικά κορήματα. Οι κινήσεις στο χερσαίο πρανές επιβαρύνουν την ευστάθεια του υποθαλάσσιου πρανούς ενώ αντίστροφα πιθανές ολισθήσεις στο υποθαλάσσιο πρανές προκαλούν απώλεια στήριξης στο χερσαίο πρανές.

SUMMARY

The Panagopoula slope area belongs to the southern faulted margin of the western Gulf of Corinth and is located above the trace of the southern marginal fault. Mesozoic limestones of Pindos unit represent the basement of the area and are covered by debris and talus cones. Detailed mapping and monitoring on the land slope, carried out by various institutions showed active creeping within the debris at the lower part of the slope.

Systematic bathymetric and geophysical survey of the submarine part of the slope by using a Boomer seismic source fired at 175J and signal's frequency between 0,7-3kHz revealed the presence of three lithoseismic units. The lower one constitutes the acoustic basement of the area and corresponds to the alpine limestones. The second unit outcrops at the shallow upper part of the submarine slope. It is characterized by chaotic reflections and represents the continuation of the debris deposits offshore. The upper unit is stratified, with continuous internal reflectors wich alternate with transparent horizons. It is interpreted as a tourbidite sequence deposited during Quaternary on the sea-bed of the Gulf of Corinth.

Deformation of the internal reflectors of the turbidite sequence at the base of the submarine slope, as well as the internal structure of the debris deposits, indicate active downslope submarine sliding. We interpret the limestones – debris contact and the debris – turbidites contact as the main surfaces of sliding. The deformation of the internal reflectors results from the down-going movement along the aforementioned contacts.

We suggest that both the on- and offshore parts of the Panagopoula slope behave as a single system. Sliding within the debris deposits of the land slope is transferred to the debris and turbidite deposits of the submarine part. Inversely, sliding phenomena at the offshore part accelerate sliding at the upper part of the slope.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κορινθιακός Κόλπος, ρηξιγενές πρανές, ερπυσμός, κορήματα, τουρβιδιτικές αποθέσεις, αστάθεια πρανούς

KEY WORDS: Gulf of Corinth, faulted slope, creeping, debris, turbidites, slope failure

1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η περιοχή της Παναγοπούλας ευρίσκεται στις νότιες ακτές του Δυτικού Κορινθιακού Κόλπου, μεταξύ των χωριών Ψαθόπυργος δυτικά και Λαμπίρη ανατολικά (Εικ. 1). Στην περιοχή αυτή, στο χερσαίο πρανές που υψώνεται ανάντι της ακτογραμμής, έχουν κατ' επανάληψη σημειωθεί έντονα κατολισθητικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα την πρόκληση σημαντικών καταστροφών στην Νέα και την Παλαιά Εθνική Οδό Κορίνθου - Πατρών και στη σιδηροδρομική γραμμή, που διέρχονται από το σημείο αυτό, και την διακοπή της κυκλοφορίας.

* SLOPE FAILURE PHENOMENA ALONG SUBMARINE ACTIVE FAULTED SLOPES: PANAGOPOULA AREA, W. GULF OF CORINTH

1. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Αγιος Κοσμάς 16604 Ελληνικό, Αθήνα. E-mail: sakell@fl.ncmr.gr

- Διευθέτηση των επιφανειακών νερών στο χώρο του οικισμού, με την κατασκευή επενδεδυμένης αύλακας στο εσωτερικό τμήμα όλων των δρόμων της οικιστικής περιοχής, για την παροχέτευσή τους εκτός οικιστικής περιοχής στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα). Όλες οι αύλακες πρέπει περιοδικά να καθαρίζονται και να εξασφαλίζεται η συνεχής και σωστή λειτουργία τους.
- Συγκέντρωση-υδρομάστευση των νερών όλων των πηγών και εκροών που αναβλύζουν και την κατάλληλη (στεγανή) παροχέτευσή τους στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα).
- Κατασκευή στραγγιστηρίων, για την ταπείνωση του εποχιακού υδροφόρου ορίζοντα και την παροχέτευση όλων των νερών στους φυσικούς άξονες απορροής. Αυτά θα κατασκευάζονται με βαθειά θεμελίωση στο εσωτερικό των τμημάτων του οδικού δικτύου που έχουν επηρεαστεί από τις πρόσφατες αστοχίες. Κατάλληλη στεγανή επένδυση (π.χ. από γεωμεμβράνη) θα τοποθετείται στη βάση τους και στο κατάντι τμήμα της διατομής τους, σε συνδυασμό με την κατασκευή επενδεδυμένης αύλακας επιφανειακά. Το έργο αυτό είναι ουσιαστικής σημασίας για τον κεντρικό δρόμο του χωριού όπου υπάρχουν οικίες, οι οποίες, εφ' όσον οι αστοχίες εξελιχθούν, θα υποστούν και αυτές τις συνέπειές τους.
- Εγκιβωτισμός της κοίτης του κεντρικού ρέματος της "Βρύσης" και προστασία των πρανών αυτού με την τοποθέτηση εύκαμπτων κατασκευών (π.χ. συρματοκιβωτίων) σε κλιμακωτή διάταξη, σε συνδυασμό με την κατασκευή μικρών δασοτεχνικών φραγμάτων εγκάρσια της κοίτης αυτού. Έτσι θα αποφεύγεται η διάβρωση των πρανών και κατ' επέκταση η εκδήλωση των αστοχιών.
- Κατασκευή, μέσα στην διαταραγμένη ζώνη της τρίτης θέσεις αστοχιών, τάφρου αποστράγγισης με διαβαθμισμένο υλικό και με τη μορφή "ψαροκόκαλου". Η τάφρος αυτή θα απάγει όλα τα νερά προς τα κατάντι στους φυσικούς άξονες απορροής (ρέματα).
- Τοπικές αντιστηρίξεις πρανών δρόμων στα οποία έχουν εκδηλωθεί αστοχίες, με εύκαμπτες κατασκευές (π.χ. συρματοκιβώτια) σε κλιμακωτή διάταξη και με βαθειά θεμελίωση.
- Πυκνή δενδροφύτευση (με βαθύρριζα και γρήγορα αναπτυσσόμενα δένδρα) των διαταραγμένων ζωνών του πρανούς, για την προστασία από μελλοντικές κατολισθητικές κινήσεις.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

B. P. Co LTD, (1966): *Γεωλογικός χάρτης Κεφαλλονιάς*, κλίμακας 1:100.000

B. P. Co LTD, (1966): *Γεωλογικά αποτελέσματα εκ της ερεύνης δι' αναζήτησιν πετρελαίων εις Δυτικήν Ελλάδα*, Έκδοση ΙΓΜΕ, Νο 10, 73 σελίδες, Αθήνα.

Commission of Engineering Geological Mapping of the IAEG (1979,1981): *Classification of rocks and soils for Engineering Geological mapping*. Bulletin of IAEG, Vol. 19, pp. 364-371 & Vol. 24, pp. 235-274, Krefeld Germany.

ΙΓΜΕ (1985): *Γεωλογικός χάρτης Κεφαλλονιάς*, κλίμακας 1:50.000.

JENKINS D.A. (1972): *Structural development of Western Greece*, A.A.P.G. 56/1 pp. 128-149,

ΛΟΪΖΟΣ Α. (1985): Εδαφομηχανική-θεμελιώσεις, Έκδοση ΕΜΠ, 494 σελίδες, Αθήνα.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Κ. (1986): *Συμβολή στη γνώση του νεογενούς και της γεωλογίας και οριοθέτησης των ζωνών Ιόνιας και Προαπούλιας σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο, Κεφαλληνία*. Διδακτορική διατριβή Πανεπιστημίου Αθηνών, 228 σελίδες, Αθήνα.

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β., ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Εκδόσεις Ζήτη, σελίδες 356, Θεσσαλονίκη.

SOREL D. (1976): *Etude Nθotectonμque dans l' arc Egθen externe occidental:les iles de Cephalonie et Zanthe et l'Elide occidentale.* Univ. Paris XI, Sud-Orsay, Thθse 3θme cycle, 196 pp, Paris.

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.- Ο.Α.Σ.Π. (2000): *Ελληνικός αντισεισμικός κανονισμός (Ε.Α.Κ.-2000),* 152 σελίδες, Αθήνα.

UNESCO / IAEG, 1976. *Engineering geological maps*. A guide to their preparation, The UNESCO Press, Paris, 79 p.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1723-1731, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1723-1731, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΕΝΕΡΓΑ ΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΡΑΝΗ: ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΑΣ, Δ. ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ*

Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ[1], Β. ΛΥΚΟΥΣΗΣ[1], Γ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ[1] & Π. ΓΕΩΡΓΙΟΥ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Γεωτεχνικά δεδομένα από το χερσαίο πρανές της περιοχής της Παναγοπούλας και γεωλογικά – γεωφυσικά δεδομένα από το υποθαλάσσιο πρανές έδειξαν ότι το εν λόγω πρανές λειτουργεί ενιαία. Από τα υποθαλάσσια στοιχεία προκύπτει ότι οι κύριες επιφάνειες ολίσθησης εντοπίζονται στην επαφή μεταξύ των αλπικών ασβεστολίθων και των πλευρικών κορημάτων αφενός και μεταξύ των πλευρικών κορημάτων και των θαλάσσιων τουρβιδιτικών αποθέσεων αφετέρου. Στο χερσαίο πρανές οι ολισθήσεις εντοπίζονται μέσα στα πλευρικά κορήματα. Οι κινήσεις στο χερσαίο πρανές επιβαρύνουν την ευστάθεια του υποθαλάσσιου πρανούς ενώ αντίστροφα πιθανές ολισθήσεις στο υποθαλάσσιο πρανές προκαλούν απώλεια στήριξης στο χερσαίο πρανές.

SUMMARY

The Panagopoula slope area belongs to the southern faulted margin of the western Gulf of Corinth and is located above the trace of the southern marginal fault. Mesozoic limestones of Pindos unit represent the basement of the area and are covered by debris and talus cones. Detailed mapping and monitoring on the land slope, carried out by various institutions showed active creeping within the debris at the lower part of the slope.

Systematic bathymetric and geophysical survey of the submarine part of the slope by using a Boomer seismic source fired at 175J and signal's frequency between 0,7-3kHz revealed the presence of three lithoseismic units. The lower one constitutes the acoustic basement of the area and corresponds to the alpine limestones. The second unit outcrops at the shallow upper part of the submarine slope. It is characterized by chaotic reflections and represents the continuation of the debris deposits offshore. The upper unit is stratified, with continuous internal reflectors wich alternate with transparent horizons. It is interpreted as a tourbidite sequence deposited during Quaternary on the sea-bed of the Gulf of Corinth.

Deformation of the internal reflectors of the turbidite sequence at the base of the submarine slope, as well as the internal structure of the debris deposits, indicate active downslope submarine sliding. We interpret the limestones – debris contact and the debris – turbidites contact as the main surfaces of sliding. The deformation of the internal reflectors results from the down-going movement along the aforementioned contacts.

We suggest that both the on- and offshore parts of the Panagopoula slope behave as a single system. Sliding within the debris deposits of the land slope is transferred to the debris and turbidite deposits of the submarine part. Inversely, sliding phenomena at the offshore part accelerate sliding at the upper part of the slope.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κορινθιακός Κόλπος, ρηξιγενές πρανές, ερπυσμός, κορήματα, τουρβιδιτικές αποθέσεις, αστάθεια πρανούς

KEY WORDS: Gulf of Corinth, faulted slope, creeping, debris, turbidites, slope failure

1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η περιοχή της Παναγοπούλας ευρίσκεται στις νότιες ακτές του Δυτικού Κορινθιακού Κόλπου, μεταξύ των χωριών Ψαθόπυργος δυτικά και Λαμπίρη ανατολικά (Εικ. 1). Στην περιοχή αυτή, στο χερσαίο πρανές που υψώνεται ανάντι της ακτογραμμής, έχουν κατ' επανάληψη σημειωθεί έντονα κατολισθητικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα την πρόκληση σημαντικών καταστροφών στην Νέα και την Παλαιά Εθνική Οδό Κορίνθου - Πατρών και στη σιδηροδρομική γραμμή, που διέρχονται από το σημείο αυτό, και την διακοπή της κυκλοφορίας.

* SLOPE FAILURE PHENOMENA ALONG SUBMARINE ACTIVE FAULTED SLOPES: PANAGOPOULA AREA, W. GULF OF CORINTH

1. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Αγιος Κοσμάς 16604 Ελληνικό, Αθήνα. E-mail: sakell@fl.ncmr.gr

Στο χερσαίο πρανές της Παναγοπούλας ευρίσκεται ήδη σε εξέλιξη λεπτομερής γεωτεχνική έρευνα των συνθηκών ευστάθειας και παρακολούθηση των υπεδαφικών μικροκινήσεων από ιδιωτικούς φορείς. Σκοπός της παρούσας ήταν η διερεύνηση της γεωλογικής δομής και των συνθηκών ευστάθειας του υποθαλάσσιου πρανούς της περιοχής και η συσχέτιση τους με τα αντίστοιχα στοιχεία που έχουν προκύψει από την γεωτεχνική έρευνα του χερσαίου πρανούς.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρύτερη περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου και ιδιαίτερα το δυτικό τμήμα του συμπεριλαμβάνεται στις πλέον ενεργές περιοχές του Ελλαδικού χώρου με βάση τις νεοτεκτονικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα και την σεισμικότητα που παρατηρείται. Πέντε σεισμοί μεγέθους M>6 έχουν λάβει χώρα κατά τα τελευταία 30 χρόνια, ενώ σημαντικός αριθμός καταστροφικών σεισμών μεγέθους M>7 αναφέρονται κατά την ιστορική περίοδο (Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989, Ambraseys & Jackson 1990).

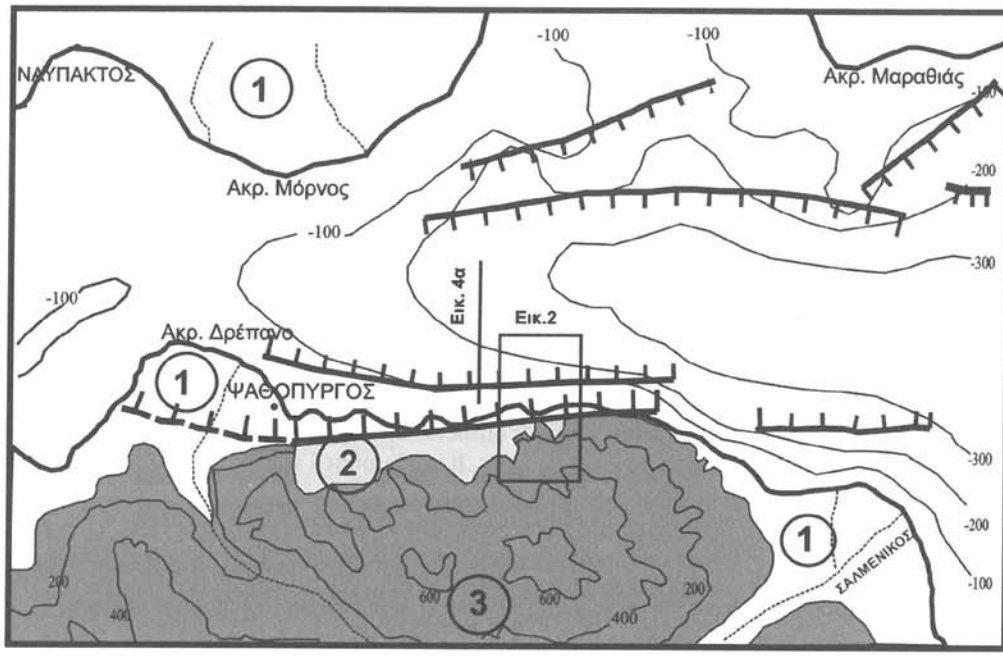


Fig 1: Map of the main faults and geological formations of the western part of the Gulf Corinth (Armijo et al 1996, Papanikolaou et al 1997, Τσόφλιας & Loftus 1971). (1): Alluvial deposits. (2): Upper Cretaceous limestone. (3): Plio-Pleistocene sediments

Εικ.1: Χάρτης του Δυτ. Κορινθιακού Κόλπου με τα κυριώτερα ρήγματα και τους γεωλογικούς σχηματισμούς (Armijo et al 1996, Παπανικολαου κ.α. 1997, Τσόφλιας & Loftus 1971). (1): Πρόσφατες προσχωματικές αποθέσεις. (2): ασβεστόλιθοι Αν. Κρητιδικού. (3): Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα

Η τάφρος του Κορινθιακού κόλπου αποτελεί μία ασύμμετρη μεταλπική λεκάνη, η εξέλιξη της οποίας από το Αν. Μειόκαινο – Πλειόκαινο μέχρι σήμερα ελέγχεται κατά κύριο λόγο από χερσαίες και υποθαλάσσιες ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίζονται κυρίως στο νότιο περιθώριο της τάφρου (Brooks & Ferentinos 1984, Armijo et al 1996, Παπανικολάου κ.ά. 1997). Αποτέλεσμα της δράσης των ρηξιγενών αυτών ζωνών είναι η σημαντική ανύψωση των ακτών της Βόρειας Πελοπονήσου, η βύθιση του υποθαλάσσιου τμήματος της τάφρου και η επακόλουθη δημιουργία απότομων πρανών κατά μήκος της νότιας πλευράς του Κόλπου.

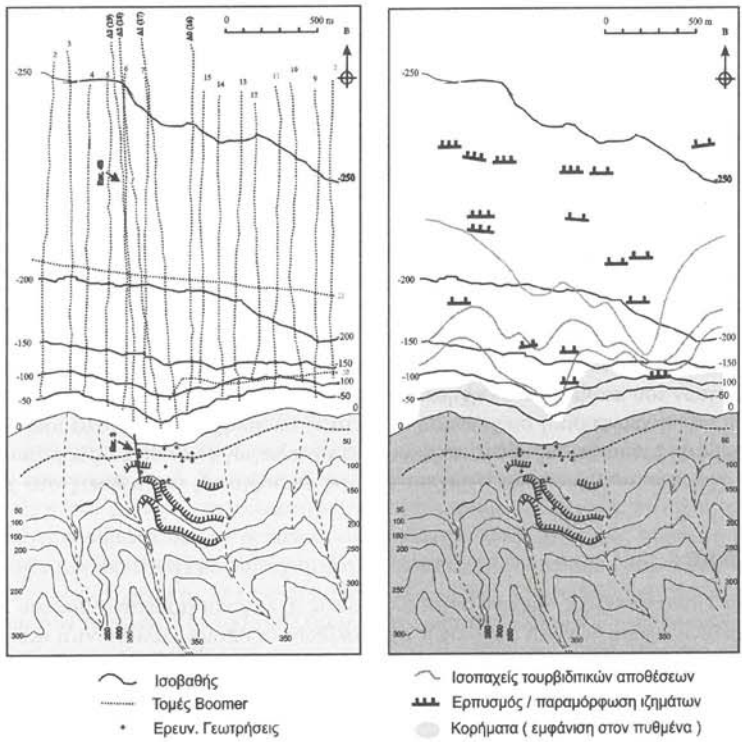
Οι Brooks & Ferentinos (1984) υπολόγισαν σχετική διαφορική κατακόρυφη ταχύτητα μεταξύ της ανυψούμενης ορεινής περιοχής της Β. Πελοποννήσου και της βυθιζόμενης λεκάνης του Κορινθιακού Κόλπου της τάξης των 5 mm/χρόνο για την χρονική περιόδο του Τεταρτογενούς, ενώ οι Keraudren & Sorel (1987) μετά από λεπτομερή μελέτη των θαλάσσιων αναβαθμίδων της περιοχής μεταξύ Κορίνθου - Ξυλοκάστρου υπολόγισαν μέση ταχύτητα ανύψωσης κατά τα τελευταία 500.000 χρόνια της τάξης του 1,5 mm/χρόνο. Οι Tselentis &

Makropoulos (1986) εφαρμόζοντας σεισμολογικές μεθόδους παρατήρησαν ταχύτητα βύθισης της βόρειας ως προς την νότια ακτή του Κόλπου της τάξης του 1 mm/χρόνο. Μόνο κατά τον σεισμό του Αιγίου (15/6/1995, Ms:6,3) παρατηρήθηκε απομάκρυνση 6 cm μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου στην περιοχή Αιγίου - Ερατεινής και βύθιση της βόρειας ακτής ως προς την νότια κατά 10 cm περίπου (Bernard et al., in press).

Οι Lykousis et al (1998), συσχετίζοντας τις θαλάσσιες αναβαθμίδες της Βόρειας Πελοποννήσου με χρονικά αντίστοιχες προδελταϊκές αποθέσεις της βόρειας υφαλοκρηπίδας του Κορινθιακού Κόλπου, υπολόγισαν ότι η μέση σχετική ταχύτητα ανύψωσης των ακτών της Β. Πελοποννήσου ως προς αυτές της Στερεάς Ελλάδας είναι 2,8 μέτρα/1000 χρόνια. Τέλος οι Billiris et al. (1991) υπολόγισαν με γεωδαιτικές μεθόδους την ταχύτητα απομάκρυνσης μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής του Κόλπου σε 1 cm/χρόνο.

Η περιοχή της Παναγοπούλας αποτελεί τμήμα του πρανούς που αναπτύσσεται κατά μήκος δύο παράλληλων ενεργών ρηξιγενών δομών (Εικ. 1): του ρήγματος του Ψαθόπυργου στη βάση του χερσαίου τμήματος του πρανούς και της υποθαλάσσιας νότιας ρηξιγενούς ζώνης του κόλπου που εντοπίζεται στη βάση του υποθαλάσσιου πρανούς (Παπανικολάου κ.ά. 1997).

Κατολισθητικά φαινόμενα, χερσαία ή υποθαλάσσια, παρατηρούνται συχνά στην ευρύτερη περιοχή (Heezen et al. 1966, Ferentinos et al. 1988, Lykousis et al. 1997), με πρόσφατο παράδειγμα, εκτός της Παναγοπούλας, την υποθαλάσσια κατολίσθηση μπροστά από το δέλτα του Σαλμενίκου το 1963 (Γαλανόπουλος κ.ά. 1966) και τις παράκτιες ολισθήσεις στη περιοχή του Αιγίου (Papatheodorou & Ferentinos 1997). Οι Ferentinos et al. (1988) περιέγραψαν λεπτομερώς τα διάφορα φαινόμενα υποθαλάσσιων ολισθήσεων κατά μήκος του νότιου πρανούς του Κορινθιακού Κόλπου στο τμήμα από το Αίγιο μέχρι το Κόλπο του Λέχαιου. Τα φαινόμενα αυτά προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η έντονη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής και η υψηλή ταχύτητα ιζηματογένεσης των προδελταϊκών αποθέσεων, και ευθύνονται για τις συχνές καταστροφές των υποθαλάσσιων καλωδίων.

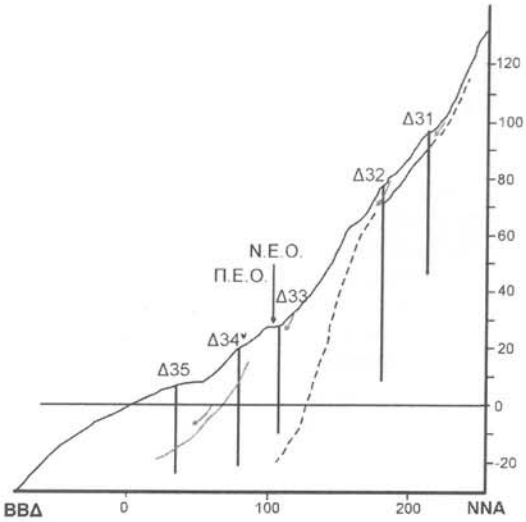


Εικ. 2α: Χάρτης σεισμικών τομών BOOMER στη θαλάσσια περιοχή της Παναγοπούλας. Η θέση του χάρτη παρουσιάζεται στην Εικ. 1.

Εικ. 2β: Υποθαλάσσιος γεωλογικός χάρτης της περιοχής Παναγοπούλας.

Fig 2a: Boomer track line map of the Panagopoula area. The location of the area is shown in Fig. 1

Fig. 2b: Submarine geological map of Panagopoula area



Εικ. 3: Τοπογραφική-γεωλογική τομή του χερσαίου πρανούς (Θέση της τομής στην Εικ. 1). ΠΕΟ: Παλαιά Εθνική Οδός. ΝΕΟ: Νέα Εθνική Οδός. Δ31-Δ35: γεωτρήσεις. ΑΒ: Αλπικό υπόβαθρο. Κ: Κορήματα
Fig. 3: Topographic and geological profile of the land slope. Location of the profile in Fig. 1. ΠΕΟ: Old National Road. NEO: New National Road. Δ31-Δ35: boreholes. AB: Alpine Basement. K: Debris

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο χερσαίο τμήμα του πρανούς της Παναγοπούλας πραγματοποιήθηκαν από ιδιωτικούς φορείς ερευνητικές γεωτρήσεις κατά μήκος τεσσάρων διατομών κατά κλίση του πρανούς (Δ0, Δ1, Δ2, Δ3), στις οποίες τοποθετήθηκαν αποκλισιόμετρα για την παρακολούθηση των κινήσεων του εδάφους (Εικ. 2Α).

Στο υποθαλάσσιο τμήμα του πρανούς πραγματοποιήθηκε λεπτομερής βυθομέτρηση κατά μήκος παράλληλων μεταξύ τους πορειών ανά 40 μ. και κάθετων προς την ακτογραμμή, με σκοπό την αποτύπωση της μορφολογίας του υποθαλάσσιου πρανούς. Για την γεωλογική - γεωφυσική διερεύνηση του υποθαλάσσιου πρανούς χρησιμοποιήθηκε τομογράφος υποδομής πυθμένα τύπου Boomer. Η γεωφυσική διερεύνηση έγινε κατά μήκος πυκνού δικτύου, το οποίο περιελάμβανε τομές κάθετες προς την ακτογραμμή και σε απόσταση 100 m μεταξύ τους, καθώς επίσης τομές παράλληλες προς την ακτογραμμή. Πραγματοποιήθηκαν επίσης τέσσερεις τομές στην προέκταση των διατομών Δ0, Δ1, Δ2 και Δ3, κατά μήκος των οποίων έχουν τοποθετηθεί οι ερευνητικές γεωτρήσεις στο χερσαίο τμήμα του πρανούς. Κατά τις εργασίες πεδίου με τον τομογράφο Boomer χρησιμοποιήθηκε εύρος συχνοτήτων του παραγόμενου ηχητικού σήματος μεταξύ 1 - 3 kHz και 0,7-3 kHz.

Η βυθομέτρηση και η γεωφυσική διερεύνηση περιέλαβε ολόκληρο το υποθαλάσσιο πρανές από την ακτογραμμή μέχρι τη βάση του σε βάθος 250 μ. περίπου. Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία από τις ερευνητικές γεωτρήσεις στο χερσαίο τμήμα του πρανούς.

4. ΧΕΡΣΑΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

Στη περιοχή της Παναγοπούλας εμφανίζονται πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Αν. Κρητιδικού με ενστρώσεις κερατολίθων, ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων, οι οποίοι καλύπτονται ασύμφωνα από Πλειο-Πλειστοκαινικές μάργες και αργίλους με παρεμβολές ημισυνεκτικών ή χαλαρών κροκαλοπαγών (Τσόφλιας & Loftus 1971). Στη βάση του πρανούς αναπτύσσεται στενή παράκτια ζώνη προσχωματικών αποθέσεων, το πλάτος των οποίων αυξάνεται στις εκβολές των ρεμάτων (Εικ. 1).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, το αλπικό υπόβαθρο καλύπτεται από πλευρικά κορήματα (Εικ. 3), το πάχος των οποίων δεν είναι σταθερό και αυξάνεται από 2-10μ. στά ανώτερα τμήματα του πρανούς (υψ. 70-100μ.) σε 30-40μ στο κατώτερο τμήμα του πρανούς από το ύψος της Νέας Εθνικής Οδού Κορίνθου - Πατρών (υψ. 20-25μ.) μέχρι την ακτογραμμή.

Παράλληλα με βάση τις μετρήσεις των αποκλισιομέτρων, το ανώτερο τμήμα του πρανούς έχει ουσιαστικά σταθεροποιηθεί ως αποτέλεσμα των αποστραγγιστικών σηράγγων που κατασκευάσθηκαν. Αντίθετα παρατη-

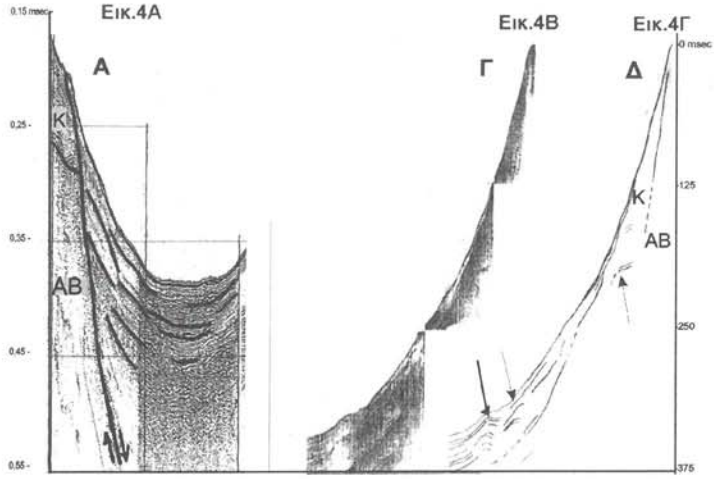
ρήθηκαν μετατοπίσεις της τάξης των 10-15 mm προς τα κατάντι στο χαμηλώτερο τμήμα του πρανούς, οι οποίες εντοπίζονται μέσα στα πλευρικά κορήματα (Εικ. 3).

5. ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

Τομές Air Gun

Η γεωλογική δομή και η μορφολογία του υποθαλάσσιου πρανούς στην περιοχή της Παναγοπούλας ελέγχονται από τη νότια υποθαλάσσια ρηξιγενή ζώνη, η οποία ευθύνεται για την δημιουργία των μεγάλων μορφολογικών κλίσεων, που τοπικά υπερβαίνουν το 50% (Εικ. 4Α).

Το ανώτερο τμήμα του υποστρώματος του νότιου πρανούς στην Εικ. 3Α καλύπτεται από τουρβιδιτικές αποθέσεις, το πάχος των οποίων αυξάνεται προς τη βάση του πρανούς και φθάνει τα 100-150 μέτρα προς το κέντρο της λεκάνης. Οι τουρβιδιτικές αποθέσεις παρουσιάζουν σαφή στρωμάτωση που αντιπροσωπεύεται στις σεισμικές τομές από τις εναλλαγές έντονων και ασθενέστερων ανακλαστήρων.



Εικ. 4: (Α): Σεισμική τομή Air Gun 10in³ και ερμηνεία της τομής (Θέση της τομής στην Εικ. 1)
(Β) - (Γ): Τομή BOOMER και ερμηνεία της τομής. Τα βέλη δείχνουν δομές ολίσθησης (Θέση της τομής στην Εικ. 1β). ΑΒ: αλπικό υπόβαθρο. Κ: κορήματα
Fig. 4: (A) Air Gun 10 in³ seismic profile and interpretation. Location of the profile in Fig. 1.
(B) – (Γ): Boomer profile and interpretation. Arrows indicate sliding structures. Location of the profile in Fig. 2a. AB: Alpine Basement. K: debris deposits.

Κάτω από τις τουρβιδιτικές αποθέσεις, στο ανώτερο τμήμα του νότιου πρανούς, παρατηρείται μια σεισμική ενότητα με χαοτική εσωτερική δομή. Χαρακτηρίζεται κυρίως από την ύπαρξη ανακλάσεων υπερβολικής μορφής και σποραδικούς μόνο, συνεχείς ανακλαστήρες έντονα παραμορφωμένους. Η ενότητα αυτή αντιπροσωπεύει κατά κύριο λόγο κορήματα που συνίστανται από διάφορα λεπτομερή έως αδρομερή υλικά (ιλύ, άμμο, κροκαλοχάλικες διαφόρων μεγεθών) με πολύ χαμηλή κοκκομετρική ταξινόμηση και ως εκ τούτου χωρίς σαφή εσωτερική δομή και στρωματοποίηση. Η έντονη παραμόρφωση που παρουσιάζεται στο εσωτερικό της ενότητας των ροών κορημάτων οφείλεται σε αλλεπάλληλες κατολισθητικές κινήσεις ή φαινόμενα ερπυσμού.

Το υπόβαθρο των κορημάτων αποτελεί συγχρόνως και το ακουστικό υπόβαθρο της σεισμικής τομής της Εικ. 4α και αντιστοιχεί στο αλπικό υπόβαθρο της περιοχής, το οποίο αποτελείται κατά κύριο λόγο από ασβεστολίθους και δευτερευόντως από κερατόλιθους και ραδιολαρίτες της ενότητας Πίνδου. Σε άλλα σημεία της περιοχής τα κορήματα απουσιάζουν και οι τουρβιδιτικές αποθέσεις έρχονται σε επαφή απ' ευθείας με το ασβεστολιθικό υπόβαθρο κατά μήκος της κύριας ρηξιγενούς ζώνης.

Χαρακτηριστικές είναι στην Εικ. 4Α οι δομές παραμόρφωσης των στρωμάτων των τουρβιδιτών και των κορημάτων. Οι δομές αυτές, κυρίως κάμψεις - ανοιχτές πτυχώσεις και μικρής κλίμακας επιφάνειες ολίσθησης, οφείλονται στην ολίσθηση των ιζημάτων με την μορφή κατολισθητικών φαινομένων ή ερπυσμού κατά κλίση του πρανούς. Οι κατολισθητικές - ερπυστικές αυτές κινήσεις εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στην επιφάνεια επα-

φής του ασβεστολιθικού υποβάθρου με τις ροές κορημάτων ή/και τις τουρβιδιτικές αποθέσεις κατά περίπτωση και στην επαφή των ροών κορημάτων με τις τουρβιδιτικές αποθέσεις. Δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης μπορούν να διακριθούν και στο εσωτερικό των ροών κορημάτων ή των τουρβιδιτικών αποθέσεων.

Τομογραφίες BOOMER

Από την ανάλυση των τομογραφιών που καταγράφηκαν με το σύστημα BOOMER, τρεις λιθοσεισμικές ενότητες μπορούν να διακριθούν κάτω από τον πυθμένα του υποθαλάσσιου πρανούς της Παναγοπούλας, οι οποίες ταυτίζονται με αυτές που αναφέρθηκαν κατά την παρουσιάση των σεισμικών τομών Air Gun. Η μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα των υποστρωμάτων του πυθμένα, που παρέχεται από το σύστημα BOOMER, μας δίνει την δυνατότητα να κατανοήσουμε με λεπτομέρεια την εσωτερική δομή των διαφόρων ενοτήτων.

· *Ανώτερη Λιθοσεισμική Ενότητα - Τουρβιδιτικές αποθέσεις*

Οι σεισμικοί ανακλαστήρες στο εσωτερικό της ανώτερης λιθοσεισμικής ενότητας παρουσιάζονται γενικά παράλληλοι, έντονοι και στα ανώτερα στρώματα σχετικά συνεχείς υποδηλώνοντας παρόμοιες συνθήκες ιζηματαπόθεσης στο πρανές σε μεγάλο χρονικό διάστημα (τουλάχιστον κατά την διάρκεια του Μεσου-Ανώτερου Τεταρτογενούς).

Οι αποθέσεις αυτές πρέπει να είναι τουρβιδιτικού χαρακτήρα (κυρίως αμμώδης ιλύς), όπως συνάγεται από την εντονότητα και παραλληλία των σεισμικοστρωματογραφικών ανακλαστήρων (Εικ. 4Β και 4Γ). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρατηρείται μια περιοδική εναλλαγή της εντονότητας και παραλληλίας των σεισμικών ανακλαστήρων με το βάθος. Εντονοι και παράλληλοι ανακλαστήρες πάχους 5-20m εναλλάσσονται με εξασθενημένους διακοπτόμενους ανακλαστήρες περίπου του ίδιου πάχους υποδεικνύοντας τις περιοδικά εναλλασσόμενες συνθήκες τουρβιδιτικής ιζηματογένεσης από πλέον χονδρόκοκκους τουρβιδίτες (αμμώδεις, αμμοχαλικώδεις) σε σχετικά λεπτόκοκκους (αμμώδης ιλύς - ιλυώδης άργιλος).

Οι εναλλαγές της κοκκομετρίας των παραπάνω αποθέσεων στη περιοχή αυτές είναι αποτέλεσμα των ευστατικών κινήσεων της στάθμης του Κορινθιακού Κόλπου κατά την περίοδο του Μέσου-Ανώτερου Τεταρτογενούς (χαμηλό επίπεδο "χονδρόκοκκοι" τουρβιδίτες - υψηλό επίπεδο "λεπτόκοκκοι" τουρβιδίτες), των περιόδων εναλλασόμενης υψηλής και χαμηλής προσφοράς υλικού από την χέρσο και έντονης ή ασθενούς σεισμικής - τεκτονικής δραστηριότητας.

Το πάχος των τουρβιδιτικών αποθέσεων είναι μικρό στο ανώτερο τμήμα του πρανούς και αυξάνεται σταδιακά προς τα κατάντι. Στη βάση του πρανούς το πάχος των τουρβιδιτών υπερβαίνει τα 70-80 μέτρα και αυξάνεται προς το κέντρο της λεκάνης. Στο χερσαίο τμήμα της περιοχής δεν φαίνεται να υπάρχει γεωλογικός σχηματισμός αντίστοιχος των τουρβιδιτικών αποθέσεων. Ο νεώτερος σχηματισμός που παρατηρείται στο χερσαίο τμήμα του πρανούς είναι τα πλευρικά κορήματα, τα οποία όπως αναλύεται στην συνέχεια είναι σχηματισμός αντίστοιχος της ενδιάμεσης λιθοσεισμικής ενότητας.

· *Ενδιάμεση Λιθοσεισμική Ενότητα - Ροές Κορημάτων*

Η ενδιάμεση λιθοσεισμική ενότητα εντοπίζεται κυρίως στο ανώτερο τμήμα του πρανούς και υπόκειται των τουρβιδιτικών αποθέσεων. Στον πυθμένα εμφανίζεται στην περιοχή από την ακτογραμμή μέχρι του βάθους των 50 - 70 μέτρων κατά θέσεις (Εικ. 2Β).

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των σεισμικών ανακλαστήρων της ενδιάμεσης ενότητας είναι η μεγάλη παραμόρφωσή τους τόσο σε βάθος όσο και κοντά στην επιφάνεια του βυθού. Η παραλληλία και η συνέχεια των ανακλαστήρων μόνο τοπικά και περιστασιακά παρατηρείται, ενώ κυριαρχούν οι δομές με χαοτικό χαρακτήρα εσωτερικών ανακλάσεων και με λοφοειδή ή υπερβολική εξωτερική διαμόρφωση των σεισμικών ακολουθιών.

Οι δομές αυτές είναι αποτέλεσμα συνδιαστικών σύνθετων επεισοδιακών κινήσεων μαζών ιζημάτων, όπως κατολισθήσεων, καταπτώσεων, ροών κορημάτων, τουρβιδιτών και πρόσφατων έντονων γεωτεκτονικών παραμορφώσεων της λεκάνης. Οι υψηλού βαθμού αναμοχλεύσεις των ιζημάτων του βυθού και των υποστρωμάτων του στην περιοχή αυτή δεν επιτρέπουν σαφή διάκριση των συνιζηματογενών ρηγμάτων και επιφανειών ολίσθησης.

Με βάση τον σεισμικό χαρακτήρα της, η ενδιάμεση ενότητα αντιπροσωπεύει πιθανότατα ροές κορημάτων και αποθέσεις κλιτύων (αργιλο-ιλυώδεις αποθέσεις, άμμοι, κροκάλες και χάλικες διαφόρων μεγεθών) χωρίς σαφή στρωμάτωση και κοκκομετρική διαβάθμιση. Προέρχονται από την απόθεση και ολίσθηση κατά κλίση του πρανούς των αδρομερών κυρίως υλικών αποσάθρωσης και διάβρωσης των σχηματισμών που εμφανίζονται στη χέρσο. Οι ροές κορημάτων που εμφανίζονται στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας αποτελούν σχηματισμό αντίστοιχο των πλευρικών χαλαρών κορημάτων που καλύπτουν το χερσαίο τμήμα του πρανούς της

Παναγοπούλας.

· *Κατώτερη Λιθοσεισμική Ενότητα - Ασβεστόλιθοι, κερατόλιθοι, ραδιολαρίτες*

Η κατώτερη λιθοσεισμική ενότητα αποτελεί το σεισμικό - ακουστικό υπόβαθρο των τομογραφιών BOOMER που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης και των σεισμικών τομών Air Gun που παρουσιάστηκαν πιο πάνω (Εικ. 4Β και 4Γ). Στην οροφή της ενότητας αυτής σταματά η διείσδυση των ηχητικών κυμάτων στο υπόστρωμα του πυθμένα.

Κατ' αντιστοιχία με την γεωλογική δομή του χερσαίου τμήματος της ευρύτερης περιοχής της Παναγοπούλας το ακουστικό υπόβαθρο των σεισμικών τομών και τομογραφιών αντιπροσωπεύει το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής, συνίσταται δηλαδή από ασβεστολίθους, κερατολίθους και ραδιολαρίτες της αλπικής Ενότητας Πίνδου.

6. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

Η μορφολογία του υποθαλάσσιου πρανούς αποτελεί ουσιαστικά συνέχεια της μορφολογίας του χερσαίου πρανούς της Παναγοπούλας. Οι ισοβαθείς του υποθαλάσσιου πρανούς διευθύνονται γενικά παράλληλα προς την ακτογραμμή. Ιδιαίτερα υψηλές είναι οι μορφολογικές κλίσεις στο ανώτερο τμήμα του πρανούς, δηλαδή από την ακτογραμμή μέχρι την ισοβαθή των 150 μέτρων, στο οποίο κυμαίνονται μεταξύ 50-65%. Οι τιμές αυτές είναι ιδιαίτερα υψηλές για υποθαλάσσιο πρανές και επιδρούν σημαντικά στην ευστάθεια των χαλαρών ιζημάτων. Η κλίση του υποθαλάσσιου πρανούς μειώνεται σταδιακά προς τα κατάντι. Μεταξύ των ισοβαθών των 150 και 200 μέτρων η κλίση κυμαίνεται μεταξύ 20-35% και μεταξύ των ισοβαθών των 200 και 250 μέτρων μεταξύ 4-10%.

Από την ανάλυση και επεξεργασία των τομογραφιών που καταγράφηκαν με το σύστημα BOOMER κατά τις εργασίες πεδίου του παρόντος ερευνητικού έργου προκύπτουν με σαφήνεια δομές παραμόρφωσης, που οφείλονται είτε σε φαινόμενα κατολίσθησης είτε σε φαινόμενα ερπυσμού στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας. Οι δομές αυτές παρουσιάζονται σε όλες ουσιαστικά τις τομογραφίες που καταγράφηκαν.

Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία για την δομή του υποθαλάσσιου πρανούς της Παναγοπούλας η οροφή του ακουστικού υποβάθρου, δηλαδή των ασβεστολίθων αφ'ενός και η οροφή των ροών κορημάτων (βάση των τουρβιδιτικών αποθέσεων) αφ'ετέρου αποτελούν πιθανότατα τις κύριες επιφάνειες, κατά μήκος των οποίων λαμβάνουν χώρα κινήσεις ολίσθησης ή ερπυσμού.

Δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης παρατηρούνται στο εσωτερικό των ροών κορημάτων και των τουρβιδιτικών αποθέσεων, οφείλονται όμως στην εσωτερική παραμόρφωση της μάζας των ιζημάτων λόγω της κίνησης κατά μήκος των προαναφερθέντων κύριων επιφανειών. Πολλές από τις δευτερεύουσες επιφάνειες ολίσθησης/ερπυσμού επηρρεάζουν τον πυθμένα του πρανούς. Αλλες εντοπίζονται στα κατώτερα στρώματα και έχουν καλυφθεί από νεώτερα ιζήματα.

Η αστάθεια και η επακόλουθη συνεχής και σταδιακή ολίσθηση προς την λεκάνη των ιζημάτων που ευρίσκονται στο ανώτερο τμήμα του υποθαλάσσιου πρανούς προκαλεί συμπίεση των ιζημάτων που ευρίσκονται προς την βάση του πρανούς. Αποτέλεσμα της συμπίεσης αυτής είναι η δημιουργία κάμψεων και πτυχώσεων των στρωμάτων που ευρίσκονται κυρίως στην βάση του πρανούς.

Παρόμοιες δομές παρατηρούνται σε διάφορα επίπεδα της σεισμικοστρωματογραφικής κολώνας των ιζημάτων, δηλαδή τόσο στα επιφανειακά (σύγχρονα) στρώματα όσο και στα κατώτερα (παλαιότερα). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι τα φαινόμενα αστάθειας και ολίσθησης/ερπυσμού των σχηματισμών που δομούν το υποθαλάσσιο πρανές είναι διαχρονικά.

Πρόσθετη ένδειξη των φαινομένων ολίσθησης που βρίσκονται σε εξέλιξη στις τουρβιδιτικές αποθέσεις παρέχεται από την διαμόρφωση των ισοπαχών των ιζημάτων αυτών (Εικ. 2Β). Οι ισοπαχείς του σχηματισμού αποκλίνουν και συγκλίνουν μεταξύ τους και σε γενικές γραμμές δεν ακολουθούν ομαλή πορεία. Σε περιοχές που απουσιάζουν φαινόμενα υποθαλάσσιων ολισθήσεων οι ισοπαχείς διευθύνονται γενικά παράλληλα προς τις ισοβαθείς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανώμαλη διαμόρφωση των ισοπαχών προδίδει την σημαντική επίδραση των φαινομένων ολίσθησης στην διαδικασία ιζηματογένεσης των τουρβιδιτικών αποθέσεων στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας.

Εκτός των τουρβιδιτικών αποθέσεων σαφείς ενδείξεις κατολισθητικών φαινομένων διακρίνονται και στο εσωτερικό των ροών κορημάτων. Ο σεισμικός χαρακτήρας της ενότητας αυτής με την τυπική "χαοτική διαμόρφωση" και την απουσία εσωτερικής δομής είναι αποτέλεσμα των φαινομένων ολίσθησης ή ερπυσμού.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση των σεισμικών τομών Air Gun και των τομογραφιών BOOMER, που πραγματοποιήθη-

καν στο υποθαλάσσιο πρανές της Παναγοπούλας, προκύπτει ότι η κυριώτερη μορφή ολίσθησης που λαμβάνει χώρα είναι ο ερπυσμός, δεδομένου ότι απουσιάζουν αξιόλογα φαινόμενα επεισοδιακών, βίαιων ολισθήσεων.

Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία για την δομή του υποθαλάσσιου πρανούς η οροφή του ακουστικού υποβάθρου, δηλαδή των ασβεστολίθων αφ'ενός και η οροφή των ροών κορημάτων (βάση των τουρβιδιτικών αποθέσεων) αφ'ετέρου αποτελούν πιθανότατα τις κύριες επιφάνειες, κατά μήκος των οποίων λαμβάνουν χώρα κινήσεις ολίσθησης ή ερπυσμού στο υποθαλάσσιο τμήμα του πρανούς. Στη βάση του υποθαλάσσιου πρανούς παρατηρείται συμπίεση και παραμόρφωση των τουρβιδιτικών αποθέσεων και τοπικές αναθολώσεις του πυθμένα, που προκαλούνται από τον ερπυσμό των αποθέσεων του ανώτερου τμήματος του πρανούς και κατ' επέκταση των πλευρικών κορημάτων του χερσαίου πρανούς.

Δομές παραμόρφωσης και δευτερεύουσες επιφάνειες κίνησης, που οφείλονται σε φαινόμενα ολίσθησης/ερπυσμού, παρατηρούνται σε ολόκληρη τη σεισμικοστρωματογραφική κολώνα των ιζημάτων, δηλαδή τόσο στα ανώτερα (νεώτερα) όσο και στα κατώτερα (παλαιότερα) στρώματα. Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι τα φαινόμενα αυτά αποτελούσαν συνήθη διεργασία κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν στην περιοχή της Παναγοπούλας και συνεχίζουν να είναι σε εξέλιξη σήμερα.

Με έμμεσο τρόπο μπορούμε να υποθέσουμε την πιθανή σχέση μεταξύ των επιφανειών ολίσθησης στο υπόστρωμα του υποθαλάσσιου και του χερσαίου πρανούς της Παναγοπούλας. Από τις μετρήσεις των αποκλισιομέτρων προκύπτει σαφής ερπυσμός των ανώτερων στρωμάτων του χερσαίου πρανούς, κυρίως στο τμήμα κατάντι της Νέας Εθνικής Οδού, ο οποίος εντοπίζεται στα πλευρικά κορήματα. Η κίνηση αυτή προφανώς επηρρεάζει ή μεταδίδεται στα κορήματα, που συναντώνται στο ανώτερο τμήμα του υποθαλάσσιου πρανούς και επακόλουθα στις τουρβιδιτικές αποθέσεις.

Επομένως μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το χερσαίο και το υποθαλάσσιο τμήμα του πρανούς της Παναγοπούλας λειτουργούν με ενιαίο τρόπο και αλληλοεπηρεάζονται. Μία πιθανή ολίσθηση στο χερσαίο τμήμα προκαλεί συνθήκες αστάθειας στις αποθέσεις του παράκτιου και υποθαλάσσιου τμήματος. Αντίστροφα, μία πιθανή υποθαλάσσια ολίσθηση στο πρανές προκαλεί απώλεια στήριξης των αποθέσεων στα ανάντι και επιταχύνει φαινόμενα κατολίσθησης στο χερσαίο πρανές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ: Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά την εταιρεία ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ Ε.Π.Ε. και ιδιαίτερα τους κ. Σ. Παπασπύρου και Α. Ρίτσο για την συνεργασία τους και την άδεια δημοσίευσης στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας του χερσαίου πρανούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AMBRASEYS N. & JACKSON J. (1990): Seismicity and associated strain of Central Greece between 1890 and 1988. Geoph. J. Int., 101, p. 663-708.

ARMIJO R., MEYER B., KING G., RIGO A. & PAPANASTASSIOU D. (1996): Quarternary evolution of the Corinth rift and its implications for the late cenozoic evolution of the Aegean. Geoph. J. Int., 126/1, p. 11-53.

BERNARD P. BRIOLE P., MEYER B., LYON-CAEN H., GOMEZ J.-M., TIBERI C., BERGE C., HATZFELD D., LACHET C., LEBRUN B., DESCHAMPS A., COURBOULEX F., LAROQUE C., RIGO A., MASSONET D., PAPADIMITRIOU P., KASSARAS J., DIAGOURTAS D., MAKROPOULOS K., VEIS G., PAPAZISI E., MITSAKAKI C., KARAKOSTAS V., PAPADIMITRIOU E. & PAPANASTASSIOU D. (1997): The Ms=6.2, June 15, 1995 Aigion earthquake (Greece): Results of a multidisciplinary study. J. Seismology, 1, 131-150.

BILLIRIS H., PARADISSIS D., VEIS G., ENGLAND P., FEATHERSTONE W., PARSONS B., CROSS P., RANDS P., RAYSON M., SELLERS P., ASHKENAZI V., DAAVISON M., JACKSON J. & AMBRASEYS N. (1991): Geodetic determination of tectonic deformation in Central Greece from 1900 to 1988. Nature 350, 124-129.

BROOKS N. & FERENTINOS G. (1984): Tectonics and sedimentology in the Gulf of Corinth and Zakynthos and Kefallinia chanels, western Greece. Tectonoph. 101, p. 25-54

ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ Α.Γ., ΔΕΛΗΜΠΑΣΗΣ Ν.Δ. & ΚΟΜΝΗΝΑΚΗΣ Π.Ε. (1966): Θαλάσσιον κύμα εκ κατολισθήσεως άνευ σεισμικής διεγέρσεως. Ann. Geol. Pays Hell., XVI, σελ. 93-110

FERENTINOS G., PAPATHEODOROU G. & COLLINS M.B. (1988): Sediment transport processes on an active submarine fault escarpment: Gulf of Corinth, Greece. Mar. Geol., 83, 43-61.

HEEZEN B.C., EWING M. & JOHNSON L. (1966): The Gulf of Corinth floor. Deep-Sea Res., 13, 381-411.

KERAUDREN B & SOREL D. (1987): The terraces of Corinth (Greece) - A detailled record of eustatic sea-level variations during the last 500,000 years. Mar. Geol., 77, p. 99-107.

LYKOUSIS V., PAPANIKOLAOU D., & SAKELLARIOU D. (1997): Geodynamically induced catastrophies of coastal ancient cities in Egialia – W. Korintiakos Gulf. Proc. Int. Symp. 'Engineering Geology and the Environment', Athens, Vol. 3, p. 3197-3202, Balkema.

LYKOUSIS V., SAKELLARIOU D. & PAPANIKOLAOU D. (1998): Sequence stratigraphy in the northern margin of the Gulf of Corinth: Implications to Upper Quaternary basin evolution. Bull. Geol. Soc. Greece, 32/2, p. 157-165

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ Β. & ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ Κ. (1989): Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 356 σ.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., ΧΡΟΝΗΣ Γ., ΛΥΚΟΥΣΗΣ Β., ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ Δ. & ΠΑΠΟΥΛΙΑ Ι. (1997): Νεοτεκτονική Δομή του Δ. Κορινθιακού Κόλπου και Γεωδυναμικά Φαινόμενα του Σεισμού του Αιγίου. Πρακτ. 5ου Πανελ. Συμπ. Ωκ/φίας & Αλιείας, Τομ. Ι, 415-418.

PAPATHEODOROU G. & FERENTINOS G. (1997): Submarine and coastal sediment failure triggered by the 1995, M_s = 6.1 R Aegion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. Marine Geology (137)3-4 p. 287-304

TSELENTIS G.-A. & MAKROPOULOS K. (1986): Rates of crustal deformation in the Gulf of Corinth (Central Greece) as determined from seismicity. Tectonophysics 124, p. 55-66.

ΤΣΟΦΛΙΑΣ Π. & LOFTUS D.L. (1971): Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Ναύπακτος, Κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ Αθήνα

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1733-1740, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1733-1740, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΛΑΜΑΡΙΑΣ (ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)*

Α. ΤΣΙΡΑΜΙΠΙΔΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Τα δείγματα προέρχονται από διαφορετικά βάθη τεσσάρων εκσκαφών για θεμελίωση έργων στην περιοχή της Καλαμαριάς. Λιθολογικά είναι αργιλώδη μέχρι αμμοπηλώδη. Η εκτεταμένη παρουσία ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και των ενδοστρωματωμένων φάσεών τους, η μεγάλη συμμετοχή σωματιδίων μεγέθους αργίλου (5-58%) και η παρουσία πολλών πληθυσμών κόκκων (κακή διαβάθμιση), σημαίνουν ανωριμότητα τόσο ορυκτολογική όσο και ιστολογική των εδαφών της Καλαμαριάς. Επίσης, παρουσιάζουν χαμηλή πλαστικότητα με όριο υδαρότητας 29,1-49,9%, δείκτη πλαστικότητας 5,7-25,6% και δείκτη συνεκτικότητας >1,0, γι' αυτό αυτά τα εδάφη θεωρούνται ημιστερεά. Τέλος, παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα <1,0. Η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (Vs) στους εδαφικούς σχηματισμούς της Καλαμαριάς σε βάθη μέχρι 50 m κυμαίνεται από 200 ως 650 m/s, υποδηλώνοντας τη μέτρια δυσκαμψία τους και την απουσία βραχώδους υποβάθρου. Καμία εκσκαφή στην Καλαμαριά για την κατασκευή δρόμων ή τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων, δεν είναι χρονοβόρα ούτε υπερβολικά δαπανηρή με βάση τα παρουσιαζόμενα στοιχεία, αφού δεν συναντά σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα, αλλά μόνο ιζηματογενείς σχηματισμούς με σχετικά χαμηλό βαθμό συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης και πάχος που ξεπερνά τα 250 m.

ABSTRACT

The samples were collected from different depths of four excavation sites for foundation of buildings. Lithologically they are clayey to sand-muddy. In the coarser fractions of 250-20 and 20-2 μm quartz and feldspars predominate. In addition, amphiboles, pyroxenes and epidote in decreasing abundance, occur with small amounts in some samples. Among the phyllosilicates micas and clay minerals predominate. The finer fraction (<0.2 μm) consists entirely of clay minerals and especially of illite, smectite, vermiculite, chlorite, and their interstratifications, as well as of kaolinite.

In young soils as of Kalamaria, the extended presence of clay minerals and their interstratifications is due to their terrigenous transportation from the adjacent drainage basin where rocks rich in feldspars and Fe-Mg minerals predominate. The main alteration products of these rocks are the above mentioned phases.

The extended presence of clay minerals and their interstratified phases, the very high participation of clay size particles (5-58%) and the presence of different grain size populations (poor sorting), signify both mineralogical and textural immaturity of the Kalamaria soils.

The extended presence of smectite and illite/smectite in some layers, may be the result of alteration of volcanic origin plagioclases. Rounded volcanic fragments with sizes from some millimeters up to 4 cm have been found inside the sedimentary formations of eastern Thessaloniki.

The degree of compaction and induration of the soils is medium, because of the presence of grains of various granulometric and mineralogical composition, as well as of the mild conditions of pressure and temperature to which they have been submitted. The silt-clayey soils predominate.

The soils present low plasticity, with liquid limit 29.1-49.9% and plasticity index 5.7-25.6%. This result is confirmed by the high values of durability index in the most samples (>1.0), for this reason these soils are considered semi-solid. In addition, they mainly present medium swelling potential and activity <1.0.

The shear wave velocity (Vs) of the soil formations of Kalamaria to depths up to 50 m varies between 200 and 650 m/s signifying their medium rigidity and the absence of rocky substratum.

None excavation for the construction of roads or the foundation of various buildings (depths up to 13 m) and none drilling for water finding (depths up to 250 m) that are referred in this paper, as well as in those that have been carried out in the past at Kalamaria, have met hard crystalline rocks (igneous or metamorphic). Only

* MINERALOGICAL COMPOSITION AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS FROM KALAMARIA (MACEDONIA)

1. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη

sedimentary formations with relatively low compaction and induration degree were excavated or drilled. On the basis of all the above data it is concluded that none excavation of the Kalamaria soils is neither time consuming nor excessively expensive.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αργιλώδη εδάφη, αργιλικά ορυκτά, φυσικά χαρακτηριστικά, δυναμικό διόγκωσης, Καλαμαριά, Μακεδονία, Ελλάς.

KEY WORDS: clayey soils, clay minerals, physical characteristics, swelling potential, Kalamaria, Macedonia, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εδαφομηχανική ως έδαφος χαρακτηρίζεται το φυσικό υλικό που βρίσκεται κάτω από τον επιφανειακό εδαφικό ορίζοντα στον οποίο γίνεται η βλάστηση των φυτών. Αποτελείται από χαλαρά συνδεμένους κόκκους ορυκτών και/ή οργανικών σωματιδίων που μπορούν να διαχωριστούν ή αποκολληθούν μεταξύ τους εύκολα με μηχανικό τρόπο.

Φυλλοπυριτικά ορυκτά (κυρίως μαρμαρυγίες και αργιλικά ορυκτά) βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα εδάφη και η προέλευσή τους οφείλεται στην εξαλλοίωση αστρίων και σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών. Στα εύκρατα κλίματα ο ιλλίτης, ο σμεκτίτης, ο βερμικουλίτης και οι ενδοστρωματωμένες φάσεις τους, είναι τα πιο συνηθισμένα αργιλικά ορυκτά σε εδάφη νεότερης ηλικίας (Weaver, 1989).

Η διόγκωση αργιλούχων εδαφών, όταν εκθέτονται σε υγρασία, μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη καταστροφή σε ποικίλες κατασκευές που είναι θεμελιωμένες πάνω σε τέτοια υλικά. Η έκταση της διόγκωσης εξαρτάται κυρίως από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις φυσικομηχανικές ιδιότητές τους όπως περιεχόμενο αργιλικών ορυκτών, περιεχόμενη υγρασία, όρια Atterberg, αντοχή θλίψης κ.λπ. (Hossain et al., 1997, Shakoor και Sarman, 1997). Το θεωρητικό μοντέλο των Shuai και Fredlund (1998) μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην πρόβλεψη της επί τόπου συνολικής διόγκωσης ή συρρίκνωσης, της επί τόπου πίεσης της διόγκωσης και στο ρυθμό της διόγκωσης ή συρρίκνωσης των εδαφών. Όμως χρησιμοποιώντας δεδομένα δοκιμών για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά των κατασκευών δε θεωρείται πολύ εύκολο (Al-Rawas, 1999).

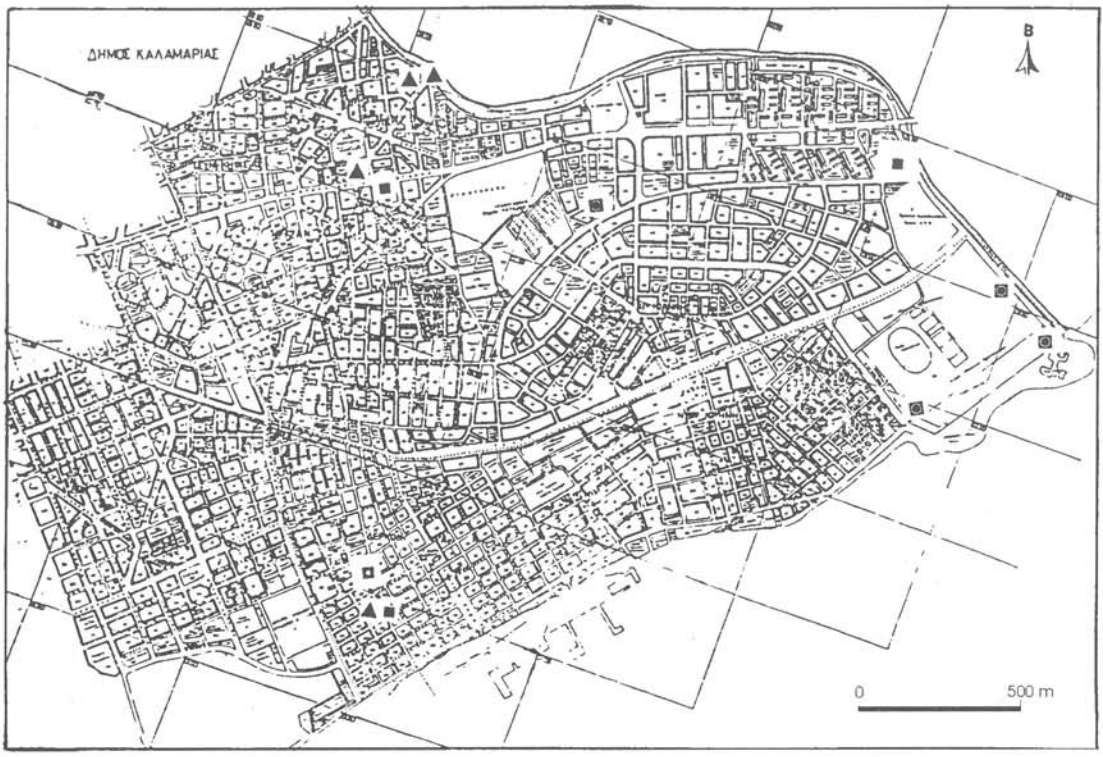
Η τεχνολογία των θεμελιώσεων και της βελτίωσης των εδαφών, επιτρέπει την αξιοποίηση οποιασδήποτε περιοχής που έχει προβληματικό έδαφος με περισσότερες ή λιγότερες δαπάνες, ανάλογα με το είδος της κατασκευής. Η γνώση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών ενός εδάφους είναι αναγκαία, επειδή σε αυτό θεμελιώνονται ποικίλα έργα, συνήθως μεγάλης έκτασης και ωφέλειας (π.χ. δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης ή τηλεφώνου, φρεάτια ή δεξαμενές ποικίλης χρήσης, δρόμοι και άλλα υπόγεια έργα, αστικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις κ.ά.). Ελαφρές κατασκευές θεμελιωμένες σε διογκούμενα εδάφη μπορούν να υποστούν σοβαρές βλάβες, όταν αυξηθεί η υγρασία των εδαφών αυτών.

Οι Βαλαλάς κ.ά. (1985) κατατάσσουν τα εδάφη του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης σε έξι κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση και σύστασή τους, καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Χρησιμοποιώντας ποικίλες ορυκτολογικές τεχνικές και τιμές φυσικών χαρακτηριστικών εδαφών γίνεται προσπάθεια να διευκρινιστούν οι διεργασίες με τις οποίες τα αργιλώδη εδάφη της Καλαμαριάς σχηματίστηκαν και οι προφυλάξεις που πρέπει να παίρνονται, όταν είναι αναπόφευκτες οι θεμελιώσεις διάφορων κατασκευών πάνω σε τέτοια υλικά τα οποία συμπιέζονται και διογκώνονται ή συρρικνώνονται εκτεταμένα.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ευρύτερη περιοχή αυτής της μελέτης γεωτεκτονικά ανήκει στο δυτικό τμήμα της ζώνης Παιονίας που χαρακτηρίζεται από την παρουσία ιζημάτων βαθιάς θάλασσας (Τηθύος). Αποτελείται από τα παρακάτω πετρώματα, από τα αρχαιότερα στα νεότερα: Ασβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουρασικού, ηφαιστειοκλαστικά, ασβεστόλιθοι Ανώτερου Ιουρασικού, βασικά (γάββροι, δολερίτες) και υπερβασικά (οφειόλιθοι) και τέλος ασβεστόλιθοι ηλικίας Κρητιδικού (Μουντράκης, 1985). Στην Καλαμαριά Νεογενή και Τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα και αλλουβιακές αποθέσεις, καλύπτουν όλους τους προηγούμενους πετρογραφικούς σχηματισμούς σε πάχη που υπερβαίνουν τα 250 m. Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί επικάθονται στα υπερβασικά και βασικά πετρώματα νότια του Πανοράματος (Σαπουντζής, 1969). Απολιθώματα, αλλά και διασταυρούμενες στρώσεις άμμων, επιβεβαιώνουν τη θαλάσσια και χερσοποτάμια προέλευση αυτών, αντίστοιχα (Μαρίνος, 1965). Στους ορεινούς όγκους βόρεια και ανατολικά της Καλαμαριάς επικρατούν πρασινοσχιστόλιθοι και γάββροι-περιδοτίτες αντίστοιχα, ενώ όλα τα κτίσματα της πόλης είναι θεμελιωμένα πάνω σε εδάφη που αποτελούνται από σχιστοπηλούς, αργίλους και ψαμμιτομάργες λιμναίας μέχρι θαλάσσιας φάσης.



Σχήμα 1. Τοπογραφικό σκαρίφημα Καλαμαριάς (▲ = θέσεις δειγματοληψίας εκσκαφών, ■ = θέσεις γεωτρήσεων Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ◙ = θέσεις γεωτρήσεων Εταιρίας Ύδρευσης-Αποχέτευσης Θεσ/νίκης, ◘ = θέση γεώτρησης Α.Π.Θ.).

Figure 1. Topographic sketch map of Kalamaria (▲ = excavation sampling locations, ■ = drilling locations of District of Central Macedonia, ■ = drilling locations of Water Supply–Sewage Co of Thessaloniki, ◘ = drilling location of A.U.Th.).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δείγματα των κλαστκών ιζημάτων συλλέχθηκαν από διαφορετικά βάθη τεσσάρων εκσκαφών, για θεμελίωση έργων (Σχήμα 1 και Πίνακας 1). Για την αφαίρεση της υγρασίας θερμάνθηκαν σε φούρνο θερμοκρασίας 60° C για 24 ώρες και στη συνέχεια κονιοποιήθηκαν σε μηχανικό κονιοποιητή βολφραμίου για ένα λεπτό. Είκοσι γραμμάρια από κάθε κονιοποιημένο δείγμα υποβλήθηκαν σε χημικές κατεργασίες κατά Jackson (1979), για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων (συγκολλητικών) υλικών: Ανθρακικά ορυκτά + Οργανική ύλη + Οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου. Οι κατεργασίες αυτές είναι απαραίτητες στην ανάλυση των λεπτομερών ιζημάτων ή εδαφών που είναι πλούσια σε αργιλικά ορυκτά και τα οποία κάτω από φυσικές συνθήκες είναι πάντα συσσωματωμένα.

Από τα κατεργασμένα δείγματα ετοιμάστηκαν τυχαία προσανατολισμένα παρασκευάσματα (κόνεως) των κλασμάτων 250-20 και 20-2 μm που υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση για ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών τους. Επίσης, ετοιμάστηκαν παράλληλα προσανατολισμένα παρασκευάσματα των κλασμάτων 20-2, 2-0,2 και <0,2 μm που εξετάστηκαν ακτινογραφικά. Τα ίδια παρασκευάσματα υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση μετά από διαπότισή τους με ατμούς αιθυλενογλυκόλης για 24 ώρες και αυτά σε νέα ακτινογραφική εξέταση μετά από πύρωσή τους στους 550° C για 2,5 ώρες. Χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία ακτίνων-Χ χαλκού και φίλτρο νικελίου σε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS με περιοχή σάρωσης 3-43° 2θ. Για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι των Schultz (1964), Perry και Hower (1970) και Moore και Reynolds (1997).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δείγματα έχουν χρώμα τεφρό μέχρι καστανό. Η λιθολογική τους ταξινόμηση, μετά την εφαρμογή χημικών κατεργασιών, για την απομάκρυνση των συγκολλητικών τους υλικών, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Διαπιστώνεται ότι το συνολικό ποσοστό των συγκολλητικών υλικών (ανθρακικά ορυκτά + οργανική ύλη + οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου), παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση (3-40%). Αυτό δεν συσχετίζεται με το βάθος, αλλά με την αρχική σύσταση των μεταφερόμενων υλικών αποσάθρωσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό του οφείλεται στην παρουσία του ανθρακικού ορυκτού ασβεστίτη. Υψηλό ποσοστό συγκολλητικών υλικών σημαίνει χαμηλή ένταση των διεργασιών αποσάθρωσης, επομένως επικράτηση ήπιων κλιματικών συνθηκών. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται οι ιστολογικές τάξεις των εδαφικών δειγμάτων που εξετάζονται με βάση την αναλογία του μεγέθους των κόκκων τους (Soil Survey Division Staff, 1993). Αυτά είναι αργιλώδη μέχρι αμμοπηλώδη. Τέλος, διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά κόκκων μεγέθους άμμου (5-72%), ιλύος (13-43%) και αργίλου (5-58%) παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διακύμανση.

Πίνακας 1. Κοκκομετρική κατανομή (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.
Table 1. Grain size distribution (wt. %) of the samples analyzed.

Δείγμα[1]		C.O.I.[2] %	Άμμος 2000-63μm	Ιλύς 63-2ìm	Άργιλος <2μm	Τάξη[3]	
Άγιος Ιωάννης	$1_{0,5}$	17	31	24	45	Αργιλώδες	C
Άγιος Ιωάννης	$2_{4,5}$	3	72	13	15	Αμμοπηλώδες	SM
Ήρας 8	$3_{4,0}$	7	5	38	57	Αργιλώδες	C
Ήρας 8	$4_{6,0}$	3	64	31	5	Αμμοπηλώδες	SM
Τάφρος (γέφυρα)	$5_{2,0}$	4	48	38	14	Πηλώδες	M
Τάφρος (γέφυρα)	$6_{5,0}$	23	32	43	25	Πηλώδες	M
Καζάζη 5	$7_{1,5}$	40	12	30	58	Αργιλώδες	C
Καζάζη 5	$8_{4,0}$	16	52	35	13	Αμμοπηλώδες	SM

[1]Οι αριθμοί δηλώνουν θέσεις δειγματοληψίας από εκσκαφές θεμελίωσης, οι δείκτες βάθος σε m κάτω από την επιφάνεια.
[2]Ανθρακικά ορυκτά + Οργανική ύλη + Οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου.
[3]Ιστολογικές τάξεις εδαφών κατά S.S.D.S. (1993).

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα της πλήρους ακτινογραφικής εξέτασης, ενώ στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα των κλασμάτων του δείγματος 3. Διαπιστώνεται ότι στα αδρομερέστερα κλάσματα 250-20 και 20-2 μm, επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ μεταξύ των αστρίων υπερέχουν τα πλαγιόκλαστα. Επίσης, υπάρχουν κατά σειρά αφθονίας αμφίβολοι, πυρόξενοι και επίδοτο που, εξαιτίας της ραγδαίας μεταφοράς και απόθεσης κοντά στην πηγή προέλευσης, δεν πρόλαβαν να εξαλλοιωθούν. Μεταξύ των φυλλοπυριτικών ορυκτών επικρατούν οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά. Στα <2 μm κλάσματα των περισσότερων δειγμάτων εντοπίζονται και ίχνη μη αργιλικών ορυκτών, ενώ το <0,2 μm κλάσμα αποτελείται αποκλειστικά από αργιλικά ορυκτά και ιδιαίτερα από ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και τις ενδοστρωματωμένες φάσεις τους, καθώς και καολινίτη. Με πύρωση στους 550°C για 2,5 ώρες μόνο στο κλάσμα 2-0,2 μm του δείγματος 3 (Σχ. 2ε) παρατηρήθηκε πλήρης μετατόπιση και ενίσχυση της ανάκλασης από τα 14,3 Ε στα 10,0 Ε, ένδειξη απουσίας χλωρίτη. Σε όλα τα άλλα κλάσματα των λοιπών δειγμάτων η συμμετοχή του χλωρίτη είναι παράλληλη του βερμικουλίτη που θεωρείται το πιο ανώριμο αργιλικό ορυκτό σε ιζήματα ή εδάφη νεότερης ηλικίας.

Για σύγκριση με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ομάδες εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών (ASTM D 2487, 1985) από οκτώ γεωτρήσεις (Σχήμα 1) που πραγματοποιήθηκαν στην Καλαμαριά από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (αδημοσίευτες εκθέσεις 1989, 1990, 1991), χωρίς την εφαρμογή οποιασδήποτε χημικής κατεργασίας. Διαπιστώνεται ότι επικρατούν τα ιλυοαργιλώδη εδάφη. Σύμφωνα με τα λιθολογικά αποτελέσματα πρόσφατων γεωτρήσεων της Ε.Υ.Α.Θ. (αδημοσίευτη έκθεση 1999, Σχήμα 1) βάθους μέχρι 250 m, για την ανεύρεση νερού, όλα τα πετρώματα που διατρυπήθηκαν ήταν αποκλειστικά ιζηματογενείς σχηματισμοί (ψηφίδες, άμμοι, ιλύες, άργιλοι και μάργες).

Πίνακας 2. Ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.
Table 2. Mineralogical composition (wt. %) of the samples analyzed.

Δείγμα	Μέγεθος (μm)	Q	Pl	Or	Am	Px	Ep	T.cl	I	S	V
$1_{0,5}$	20-2	26	38	21	4	ίχνη		11			
	<2	ίχνη		ίχνη					74	7	19
$2_{4,5}$	250-20	41	24	9				26			
	20-2	14	24	31	13			18			
	<2								57	31	12
$3_{4,0}$	250-20	38	34	12			2	14			
	20-2	28	28	24				20			
	2-0,2			ίχνη					53	20	27
	<0,2								61	10	29
$4_{6,0}$	20-2	21	33	27				19			
	<2	ίχνη		ίχνη					46	39	15
$5_{2,0}$	20-2	16	36	24	9			15			
	<2		ß÷νη						47	38	15
$6_{5,0}$	20-2	23	33	18				26			
	<2	ίχνη	ίχνη	ίχνη					66	11	23
$7_{1,5}$	20-2	37	33	13	3	5		9			
	2-0,2	ίχνη	ίχνη	ίχνη					79	7	14
	<0,2								73	14	13
$8_{4,0}$	20-2	18	37	20		6		19			
	<2								61	19	20

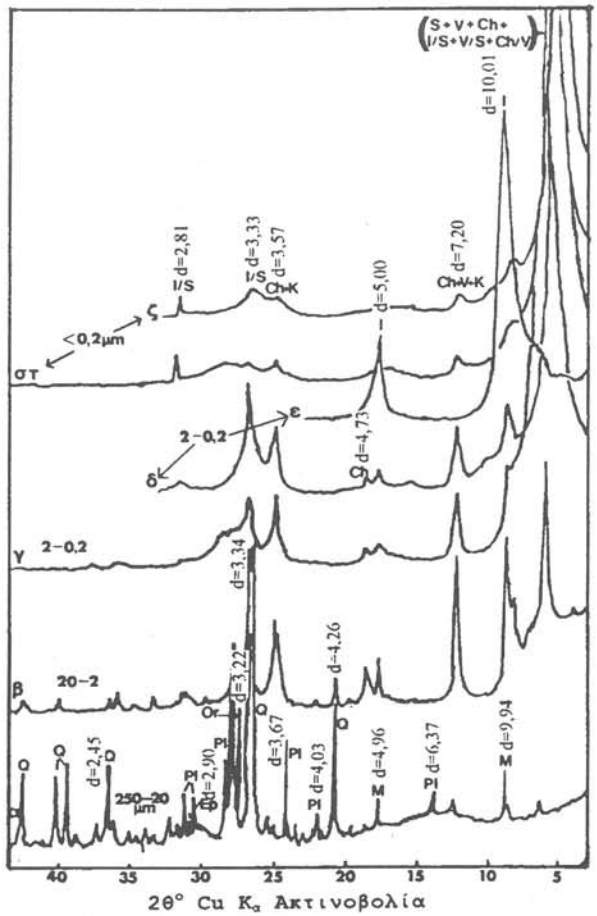
Q = χαλαζίας, Pl = πλαγιόκλαστο, Or = ορθόκλαστο, Am = αμφίβολοι, Px = πυρόξενοι, Ep = επίδοτο, T.cl = σύνολο αργιλικών ορυκτών, I = ιλλίτης
(+I/S) (ή μαρμαρυγίας + M/S στα >2 μm κλάσματα), S = σμεκτίτης, V = βερμικουλίτης (+ Ch + V/S + Ch/V + K), M = μαρμαρυγίας, Ch = χλωρίτης,
K = καολινίτης. Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 1.

Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών Καλαμαριάς.
Table 3. Physical characteristics of Kalamaria soils.

Δείγμα[1]		Άμμος %	Ιλύς %	Άργιλος %	Τάξη[2]	W_l %	W_p %	I_p %	W %	I_c	
Άγιος Ιωάννης	1_2	19	41	40	CL(zC)	46,3	22,3	24,0	20,6	1,07	ημιστερεό
Άγιος Ιωάννης	1_4	39	31	30	CH(cM)	43,2	24,4	18,8	34,6	0,46	πολύ πλαστικό
Γήπεδο Φοίνικα	1_2	42	29	29	CL(cM)	47,6	23,5	24,1	26,7	0,87	λίγο πλαστικό
Γήπεδο Φοίνικα	2_5	34	33	33	CL(cM)	33,3	16,0	17,3	18,7	0,84	λίγο πλαστικό
Γήπεδο Φοίνικα	3_{13}	-	50	50	CL(zC)	44,4	26,7	17,7	41,0	0,19	υδαροπλαστικό
ΙΚΑ Βότση	$1_{1,5}$	37	32	31	ML(cM)	29,1	23,4	5,7	15,1	2,46	ημιστερεό
ΙΚΑ Βότση	$2_{2,0}$	42	29	29	CL(cM)	47,2	26,3	20,9	20,3	1,29	ημιστερεό
ΙΚΑ Βότση	$2_{3,5}$	64	18	18	SC(sM)	47,7	26,1	21,6	27,9	0,92	λίγο πλαστικό
ΙΚΑ Βότση	3_4	2	49	49	CH(zC)	49,9	24,3	25,6	12,1	1,48	ημιστερεό
ΙΚΑ Βότση	5_5	37	32	31	CL(cM)	32,8	20,1	12,7	3,8	2,28	ημιστερεό

[1]Οι αριθμοί δηλώνουν θέσεις γεωτρήσεων, οι δείκτες βάθος σε m κάτω από την επιφάνεια.
[2]Ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM D 2487 (1985): CL = ιλυώδης άργιλος, CH = υψηλής πλαστικότητας άργιλος, ML = ιλύς, SC = αργιλώδης άμμος. Σε παρένθεση οι αντίστοιχες ιστολογικές τάξεις τους (zC = ιλυοαργιλώδες, cM = αργιλοπηλώδες, sM = αμμοπηλώδες).
W_l = όριο υδαρότητας, W_p = όριο πλαστικότητας, I_p = δείκτης πλαστικότητας (W_l-W_p), W = περιεχόμενη υγρασία, I_c = δείκτης συνεκτικότητας [(W_l-W)/I_p].
Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 1.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συσχέτιση του ποσοστού του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότητας σε διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων του Van der Merwe (1975). Διαπιστώνεται ότι τα αργιλώδη εδάφη της Καλαμαριάς παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα A<1,0. Ως ενεργότητα (A) χαρακτηρίζεται ο λόγος του δείκτη πλαστικότηταw (I_p) προς το αργιλικό κλάσμα (<2 μm).



Σχήμα 2. Αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα κλασμάτων δείγματος 3.
α = τυχαία προσανατολισμένο, (β, γ, στ) = παράλληλα προσανατολισμένα,
(δ, ζ) = διαποτισμένα με αιθυλενογλυκόλη, ε = πυρωμένο στους 550°C .
Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 2.
Figure 2. Representative XRD patterns of fractions of sample 3.
α = randomly oriented, (β, γ, στ) = air dried, (δ, ζ) = ethylene glycolated,ε = heated at 550°C. Other symbols as in Table 2.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

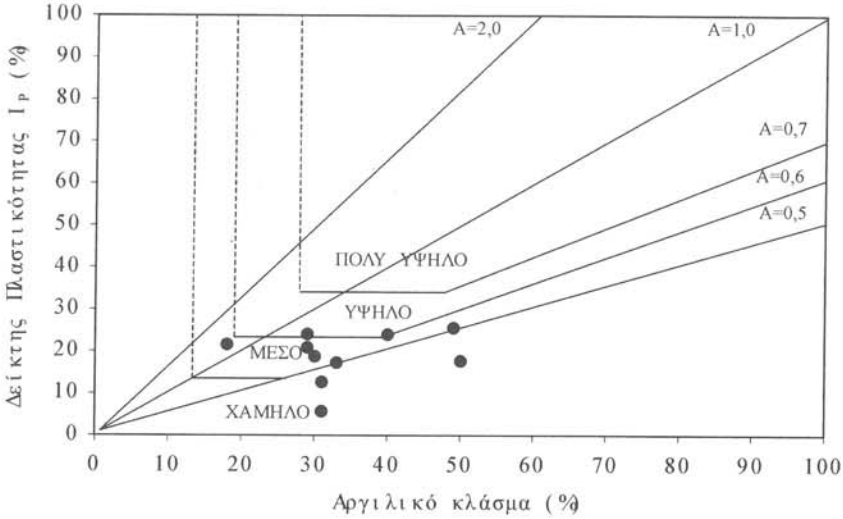
Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Πλειστόκαινου (23,7 – 0,01 εκατομμ. χρόνια πριν) σε εύκρατες περιοχές όπως η Ελλάδα (Nairn, 1961), ευνόησαν την αποσάθρωση των βασικών και υπερβασικών πυριγενών, καθώς και των μεταμορφωμένων πετρωμάτων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή αυτής της μελέτης.

Εξαιτίας της μεγάλης διακύμανσης του ποσοστού των κόκκων άμμου, ιλύος και αργίλου, συμπεραίνεται ότι, τόσο η σύσταση των υλικών αποσάθρωσης όσο και η μεταφορική ικανότητα του νερού, ποίκιλλαν σημαντικά κατά τις διαφορετικές χρονικές περιόδους μεταφοράς και απόθεσης.

Λεπτομερής κοκκομετρική μελέτη των δειγμάτων που εξετάζονται, αλλά και παλαιότερων μελετών, επιβε-

βαιώνει την επικράτηση κόκκων μεγέθους <0,06 mm (ιλύς + άργιλος), ενώ ακολουθούν σε αναλογία κόκκοι μεγέθους άμμου (2 – 0,06 mm). Το ποσοστό κόκκων μεγέθους >2 mm (χαλίκια) δεν ξεπερνά το 10% στο σύνολο της στρωματογραφικής στήλης.

Σε πρόσφατης ηλικίας εδάφη όπως της Καλαμαριάς, η εκτεταμένη παρουσία ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και των ενδοστρωματωμένων φάσεών τους, οφείλεται στη χερσοποτάμια μεταφορά τους από τη γειτονική λεκάνη απορροής στην οποία επικρατούν πετρώματα πλούσια σε αστρίους και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά των οποίων κύρια προϊόντα εξαλλοίωσης είναι οι παραπάνω φάσεις.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων. Προσδιορισμός δυναμικού διόγκωσης και ενεργότητας (A) κατά Van der Merwe (1975).

Figure 3. Expansive clay classification diagram. Determination of swelling potential and activity (A) according to Van der Merwe (1975).

Εξαιτίας της συγκεκριμένης ορυκτολογικής παραγένεσης, της πολύ μεγάλης συμμετοχής τεμαχιδίων μεγέθους αργίλου (5-58%) και της κακής διαβάθμισης των κόκκων τους (πολλοί πληθυσμοί κόκκων), τα εδάφη της Καλαμαριάς είναι ανώριμα, τόσο ορυκτολογικά όσο και ιστολογικά, σύμφωνα με τα αντίστοιχα διαγράμματα του Weller (1960).

Η εκτεταμένη παρουσία σε ορισμένους ορίζοντες του σμεκτίτη και της ενδοστρωματωμένης φάσης του ιλλίτη/σμεκτίτη, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα εξαλλοίωσης πλαγιόκλαστων ηφαιστειακής προέλευσης. Αποστρογγυλεμένα ηφαιστειακά θραύσματα μεγέθους ορισμένων χιλιοστών μέχρι 4 cm έχουν βρεθεί μέσα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς της ανατολικής Θεσσαλονίκης (Σαπουντζής κ.ά., 1980).

Ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης των εδαφών είναι μέτριος, εξαιτίας της παρουσίας κόκκων ποικίλης κοκκομετρικής και ορυκτολογικής σύστασης, καθώς και των ήπιων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες έχουν υποβληθεί. Επικρατούν τα ιλυοαργιλώδη εδάφη.

Τα εδάφη παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή πλαστικότητα με όριο υδαρότητας 29,1-49,9% και δείκτη πλαστικότητας 5,7-25,6%. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τις υψηλές τιμές του δείκτη συνεκτικότητας στα περισσότερα δείγματα (>1,0), γι' αυτό αυτά τα εδάφη θεωρούνται ημιστερεά (Πίνακας 3). Επίσης, παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα <1,0 (Σχήμα 3).

Καμία εκσκαφή για την κατασκευή δρόμων ή για τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων (βάθη μέχρι 13 m) και καμία γεώτρηση για την ανεύρεση νερού (βάθη μέχρι 250 m) που αναφέρονται σ' αυτή την εργασία, αλλά και σε όσες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Καλαμαριάς, δε συνάντησε σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα (πυριγενή ή μεταμορφωμένα). Μόνον ιζηματογενείς σχηματισμοί των οποίων ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης είναι σχετικά χαμηλός, έχουν εκσκαφτεί και διατρυπηθεί.

Σύμφωνα με μελέτη του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Α.Π.Θ. (αδημοσίευτη έκθεση, 2000), έγινε προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών του εδάφους της Καλαμαριάς με γεώτρηση στη θέση περίπτερο Προσκόπων (Σχ. 1) με τη μέθοδο της σεισμικής διασκόπησης Cross-hole. Τα επιφανειακά αργιλώδη στρώ-

ματα πάχους 5-7 m παρουσιάζουν ταχύτητα διατμητικών κυμάτων Vs=200-230 m/s, τα αμέσως υποκείμενα στρώματα (μάργες με ενστρώσεις άμμων και αργίλων) πάχους 15 m έχουν Vs=450-650 m/s και τα ακόμη βαθύτερα αργιλώδη στρώματα, μέχρι βάθος 50 m από την επιφάνεια, παρουσιάζουν Vs=280-600 m/s. Οι παραπάνω τιμές Vs θεωρούνται γενικά υψηλές υποδηλώνοντας εδαφικούς σχηματισμούς μέτριας δυσκαμψίας, σε καμία όμως περίπτωση δεν είναι ανάλογες βραχωδών υποβάθρων (Vs>750 m/s). Ο αριθμός κτύπων N-SPT στους δύο ανώτερους σχηματισμούς επιβεβαιώνει τα δυναμικά χαρακτηριστικά, καθώς συμβαίνει διείσδυση του γεωτρητικού στελέχους με 50 κτύπους ανά 10 cm, γεγονός που υποδηλώνει τον εδαφικό χαρακτήρα των σχηματισμών.

Με βάση τα παρουσιαζόμενα στοιχεία, συμπεραίνεται ότι η εκσκαφή των εδαφών της Καλαμαριάς, για την κατασκευή δρόμων ή τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων, δεν είναι χρονοβόρα ούτε υπερβολικά δαπανηρή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AL-RAWAS, A. A. 1999. The factors controlling the expansive nature of the soils and rocks of northern Oman. *Eng. Geol.* **53**, 327-350.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1985. D 2487, Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08, pp. 395-408.

ΒΑΛΑΛΑΣ, Δ., ΔΕΡΜΩΝ, Δ., ΤΕΓΟΣ, Γ., ΠΑΠΑΧΑΡΙΣΗΣ, Ν. & ΤΣΟΤΣΟΣ, Σ. 1985. Γεωτεχνική μελέτη περιοχής Θεσσαλονίκης. Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 136 σελ.

HOSSAIN, D., MATSAH, M. I. & SADAQAH, B. 1997. Swelling characteristics of Madinah clays. *Quart. J. Eng. Geol.* **30**, 205-220.

JACKSON, M. L. 1979. Soil chemical analysis. Adv. Course, 2nd ed., 11th printing. Madison, Wisconsin, 895 pp.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. 1965. Συμβολή εις την γνώσιν της εξαπλώσεως του Πλειστοκαίνου εις την Μακεδονίαν. *Επιστ. Επετ. ΦΜ.Σ.*, Α.Π.Θ. 9, 95-111.

MOORE, D. M. & REYNOLDS, R. C., Jr. 1997. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 2nd ed. Oxford Univ. Press, New York, 384 pp.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 207 σελ.

NAIRN, A. 1961. Descriptive Palaeoclimatology. Interscience, New York, 560 pp.

PERRY, N. & HOWER, J. 1970. Burial diagenesis in Gulf Coast pelitic sediments. *Clays Clay Miner.* **18**, 165-177.

ΣΑΠΟΥΝΤΖΗΣ, Η. 1969. Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτησις των πρασίνων γνευσίων της Θεσσαλονίκης. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 124 σελ.

ΣΑΠΟΥΝΤΖΗΣ, Η., ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Γ., ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ, Γ. & ΠΑΠΑΧΑΡΙΣΗΣ, Ν. 1980. Περί των ηφαιστειακών υλικών των ευρεθέντων εντός των ιζημάτων της πόλεως Θεσσαλονίκης. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **30/1**, 154-174.

SCHULTZ, L. G. 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 391-C, 33 pp.

SHAKOOR, A. & SARMAN, R. 1997. Significance of Geological Characteristics in Predicting the Swelling Behavior of Mudrocks. Assoc. Eng. Geol. Sp. Publ., 9.

SHUAI, F. & FREDLUND, D. G. 1998. Model for the simulation of swelling-pressure measurements on expansive soils. *Can. Geotechn. J.* **35**, 96-114.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993. Soil survey manual. U.S. Dept. Agri. Handbook No. 18, 437 pp.

VAN der MERWE, D. H. 1975. Contribution to specialty session B, current theory and practice for building on expansive clays. In: Proc. 6th Regional Conf. Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, 2, pp. 166-167.

WEAVER, C. E. 1989. Clays, Muds, and Shales. Developments in Sedimentology 44. Elsevier, Amsterdam, 820 pp.

WELLER, J. M. 1960. Stratigraphic principles and practices. Harper and Row, N. York, 725 pp. 236

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1741-1748, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1741-1748, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΑΜΩΝΑ*

Μ. ΧΑΤΖΗΑΓΓΕΛΟΥ[1], Β. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ[1], Γ. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ[1], Γ. ΣΟΥΛΙΟΣ[1], Α. ΚΙΛΙΑΣ[1], Β. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ[2]

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη διερεύνηση της ποιότητας της βραχομάζας όπου κατασκευάζεται η σιδηροδρομική σήραγγα του Πλαταμώνα. Περιγράφεται η γεωλογία της περιοχής όπως αποτυπώθηκε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας και ταξινομείται ποιοτικά η βραχομάζα με εφαρμογή των μεθόδων RMR (Bieniawski, 1976) και GSI (Hoek, 1974, Hoek et al., 1998). Τέλος, τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων συγκρίνονται για όλους τους σχηματισμούς της περιοχής μελέτης και διατυπώνεται εμπειρική σχέση με ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης.

ABSTRACT

The present paper refers to the investigation of the rock mass at the area of the under construction railway tunnel of Platamon. The new railway line connects the northern boundaries of Greece with Athens. The height of the tunnel is 13m. The tunnel is 2666m long and consists the following parts: a) 2+430 – 3+818: Tunnel, b) 3+818 – 3+880: Cut and Cover, c) 3+880 – 4+345: Tunnel, d) 4+345 – 4+412: Cut and Cover, e) 4+412 – 5+096: Tunnel.

For the construction and the safe support of the tunnel, the rock mass was investigated using the RMR and GSI geomechanical methods. According to our investigation, the rockmass is generally characterized as poor to very poor. However, in some parts the quality could be characterized as good or intermadiate. The results were compared and empirical relationships were established.

KEY WORDS: Σήραγγα (tunnel), ταξινόμηση βραχομάζας (rock mass classification), σήραγγα Πλαταμώνα (tunnel of Platamon)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάνοιξη της σήραγγας του Πλαταμώνα έγινε για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μιας διπλής σιδηροδρομικής γραμμής υψηλής ταχύτητας με ηλεκτροκίνηση. Η σήραγγα είναι μονού κλάδου και διπλής κατεύθυνσης. Η χάραξη της νέας γραμμής ξεκινά από τα όρια των Νέων Πόρων και του Πλαταμώνα και κατευθύνεται βόρεια διασχίζοντας τον Πλαταμώνα (Εικ. 1). Το ύψος της σήραγγας είναι περίπου 13m. Η σήραγγα, η οποία έχει συνολικό μήκος 2666 m, ξεκινά από τη Χ.Θ. 2+430 του έργου και περιλαμβάνει τα παρακάτω τμήματα:

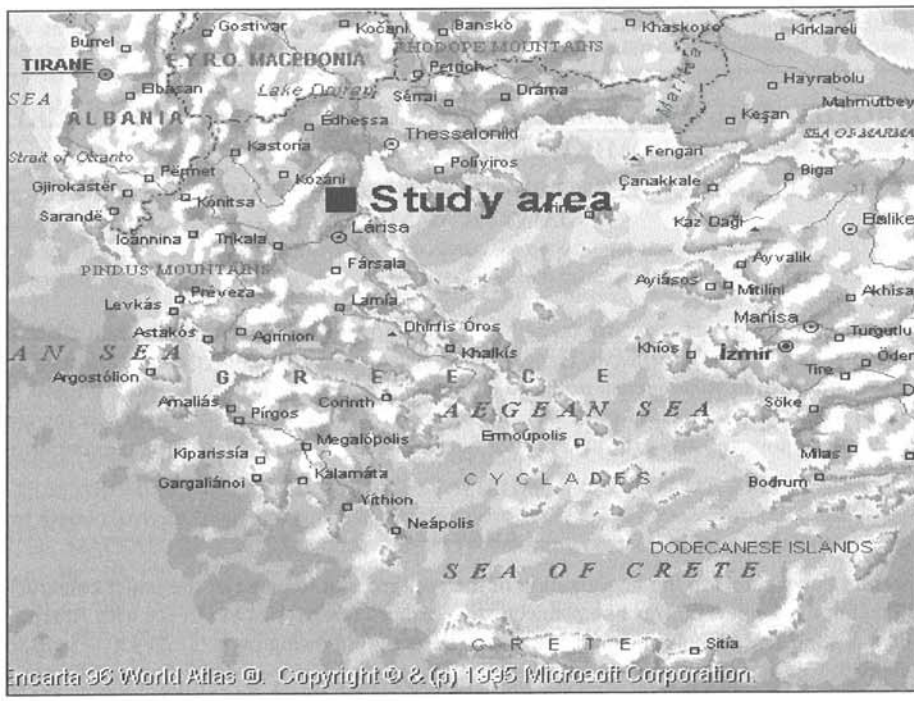
1. Χ.Θ. 2+430 - 3+818: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 1.388m
2. Χ.Θ. 3+818 - 3+880: Cut and Cover (ανοικτό όρυγμα με επανεπίχωση) μήκους 62m
3. Χ.Θ. 3+880 - 4+345: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 465m
4. Χ.Θ. 4+345 - 4+412: Cut and Cover μήκους 67m
5. Χ.Θ. 4+412 - 5+096: Υπόγεια εκσκαφή μήκους 684m

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή αποτελείται από οφειόλιθους επωθημένους στα Τριαδικοϊουρασικά πετρώματα του ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής καθώς και επικλυσηγενώς τοποθετημένους κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Κατά την επώθηση, που έλαβε χώρα στο Άνω Ιουρασικό, σχηματίστηκε χαρακτηριστικό οφειολιθικό μίγμα (melange, *Μουντράκης, 1985, ΙΓΜΕ, 1987*). Η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος της σήραγγας, δίδεται την γεωλογική τομή της Εικόνας 2.

* ROCK MASS QUALITY ALONG THE TUNNEL OF PLATAMON UNDER CONSTRUCTION

1. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54006 Θεσσαλονίκη
2. ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε., Καρόλου 27, Αθήνα



Εικ. 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής
Fig. 1. Location of the study area

Η σήραγγα, στην είσοδο της (Χ.Θ. 2+430) διαπερνά έναν έντονα τεκτονισμένο οφειολιθικό σχηματισμό αποτελούμενο, στη θέση αυτή, κυρίως από αμφιβολίτες. Από τη Χ.Θ. 2+550 μέχρι τη Χ.Θ. 2+800 περίπου, η σήραγγα διαπερνά παραποτάμιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι οποίες βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τους οφειόλιθους, του οποίους η σήραγγα συναντά εκ νέου στο τμήμα από Χ.Θ. 2+800 μέχρι 2+900 περίπου.

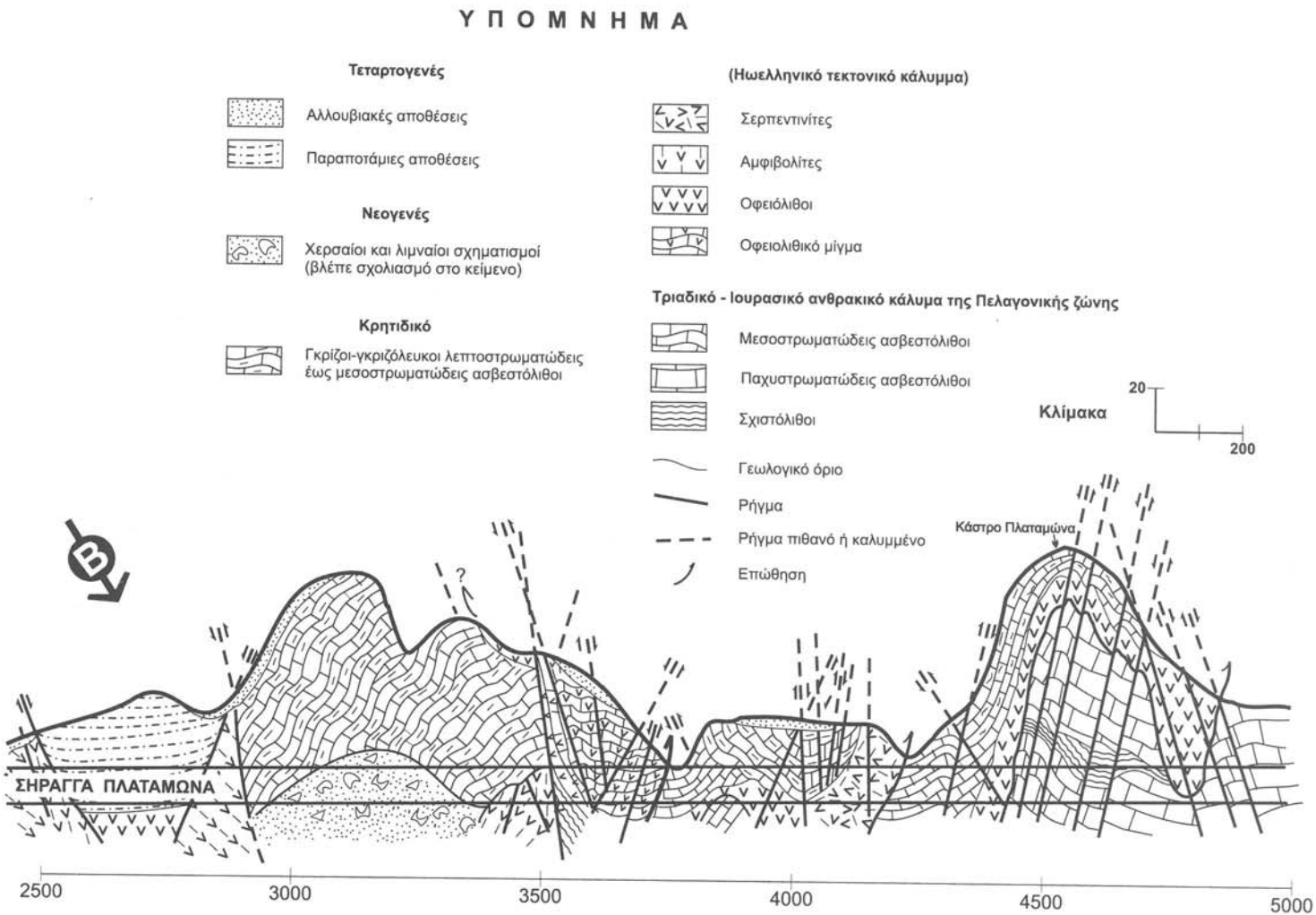
Στη συνέχεια, η σήραγγα διασχίζει, σε μήκος περίπου 100 m, γκρίζους – γκριζόλευκους λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις κρητιδικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι επάνω σε νεογενείς σχηματισμούς (Χ.Θ. 3+000 – Χ.Θ. 3+350).

Τα Νεογενή ιζήματα της περιοχής αποτελούνται από αποθέσεις ρηχής θάλασσας, οι οποίες αποτελούνται από στρώσεις πολύ στιφρών και σκληρών καστανών αμμωδών αργίλων και ιλύος με καστανοκίτρινες και τοπικά γκριζοπράσινες πυκνές αργιλώδεις άμμους με χάλικες και μικρά τεμάχη κρυσταλλικών ασβεστόλιθων και υπερβασικών πετρωμάτων. Ένας όγκος Κρητιδικού ασβεστόλιθου πιθανόν να ολίσθησε κατά το νεογενές από γειτονική περιοχή. Τα ιζήματα του Νεογενούς εμφανίζονται στις θέσεις από Χ.Θ. 2+950 μέχρι Χ.Θ. 3+450.

Από τα στοιχεία που έχουμε συλλέξει, είναι πιθανό ο παραπάνω σχηματισμός που χαρακτηρίστηκε ως «νεογενή ιζήματα» να μην είναι τίποτα άλλο παρά τεκτονικό λατυποπαγές των ασβεστόλιθων στην επαφή τους με τον οφειολιθικό σχηματισμό. Η διερεύνηση όμως αυτού του γεωλογικού προβλήματος αποτελεί ξεχωριστό θέμα, πέραν των ορίων και του στόχου της παρούσας έρευνας.

Μετά τα νεογενή ιζήματα η σήραγγα διαπερνά οφειόλιθους αντίστοιχους με αυτούς της Χ.Θ. 2+430. Στη συνέχεια, και μέχρι τη Χ.Θ. 3+750, οι οφειόλιθοι ανακατεύονται με ανθρακικά τριαδικο-ιουρασικά πετρώματα δίνοντας την εντύπωση ενός τεκτονικού μίγματος (melange) που σχηματίστηκε κατά την επώθηση των οφειολίθων επάνω στο ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής.

Οι σχηματισμοί της Πελαγονικής αποτελούνται από εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων με πλήθος τεκτονικών ασυνεχειών, γκριζόμαυρου χρώματος ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, καστανόλευκους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, κατακερματισμένα τεμάχη μαρμάρων ανάμεσα στα οποία υπάρχει λεπτόκοκκο υλικό ανθρακικής σύστασης καθώς και λευκά έντονα αποσαθρωμένα μάρμαρα. Οι ανθρακικοί αυτοί σχηματισμοί παρουσιάζουν ποικίλες διευθύνσεις κλίσεως, έντονο τεκτονισμό και πτύχωση. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι μεσοστρωματώδεις και κατά θέσεις παχυστρωματώδεις και αποτελούν τμήμα του Ανατολικού ανθρακικού καλύμματος. Η ηλικία τους τοποθετείται στο Τριαδικό-Ιουρασικό.



Εικ. 2. Γεωλογική τομή κατά μήκος της σήραγγας Πλαταμώνα
Fig. 2. Geological section along the tunnel of Platamon

Κατά την επίκλυση του Μ.-Α. Κρητιδικού, μαύροι και γκρίζοι έως γκριζόλευκοι (λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις) ασβεστόλιθοι τοποθετήθηκαν, σε ασυμφωνία, επάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα (Χ.Θ. 3+850 – 4+100). Στο τμήμα από Χ.Θ. 4+100 μέχρι 4+200 η σήραγγα συναντά σερπεντινίτες του τεκτονικού καλύμματος. Τέλος, από Χ.Θ. 4+200 μέχρι την έξοδο της σήραγγας (Χ.Θ. 5000) η σήραγγα τριαδικούς μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, επωθημένους οφειόλιθους (Χ.Θ. 4+400 και Χ.Θ. 4+800) και τριαδικούς παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις σχιστολίθων. Επί των σχηματισμών αυτών, τοποθετούνται κρητιδικοί ασβεστόλιθοι.

ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ RMR (BIENIAWSKI, 1976)

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας κατά RMR χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω πληροφορίες: Η αντοχή του συμπαγούς πετρώματος, η παρουσία του υπογείου νερού, η ποιότητα του πετρώματος RQD και η κατάσταση των ασυνεχειών. Η κατάσταση των ασυνεχειών περιγράφεται με την απόσταση των ασυνεχειών, το μήκος τους, το άνοιγμά τους, την τραχύτητα των τοιχωμάτων τους, την αποσάθρωση των τοιχωμάτων και τη σκληρότητα του υλικού πλήρωσης.

Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν σε κάθε βήμα της εκσκαφής, με στόχο τη συστηματική ταξινόμηση της βραχομάζας κατά μήκος της σήραγγας. Από την αξιολόγηση των μετρήσεων πεδίου διαπιστώνεται ότι η ποιότητα της βραχομάζας, στο τμήμα από Χ.Θ.2+430 έως Χ.Θ.4+222, είναι φτωχή έως πολύ φτωχή με μερικές θέσεις μόνο μέτριας ποιότητας. Στις θέσεις αυτές συναντώνται οφειολιθικοί σχηματισμοί, χαλαρά ιζήματα του Τεταρτογενούς, ιζήματα του Νεογενούς, έντονα κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής ζώνης ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού, και γκρίζος έως γκριζόλευκος ασβεστόλιθος του Κρητιδικού.

Από Χ.Θ.4+222 έως Χ.Θ.4+459 οι ασβεστόλιθοι της Πελαγονικής και οι οφειόλιθοι που συναντώνται χαρακτηρίζονται μέτριας έως φτωχής ποιότητας. Από Χ.Θ. 4+459 έως Χ.Θ. 4+696 συναντώνται παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού, ενδιαστρώσεις σχιστόλιθων. Η βραχομάζα σ΄ αυτή τη θέση χαρακτηρίζεται ως μέσης ποιότητας βραχομάζα με θέσεις καλής αλλά και φτωχής ποιότητας. Η φτωχή ποιότητα της βραχομάζας οφείλεται στην εμφάνιση των σχιστολιθικών σχηματισμών. Από Χ.Θ.4+696 έως Χ.Θ.4+782 η βραχομάζα είναι φτωχή και κατά θέσεις πολύ φτωχή εξαιτίας της επώθησης του οφειολιθικού σχηματισμού στον παχυστρωματώδη ασβεστόλιθο. Τέλος στις Χ.Θ.4+782 έως Χ.Θ.5+079 ξανασυναντάται ο παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος του Κρητιδικού και γι΄ αυτό η βραχομάζα χαρακτηρίζεται μέσης έως καλής ποιότητας. Τέλος, από Χ.Θ.5+079 έως Χ.Θ. 5+096 οι ασβεστόλιθοι που εμφανίζονται είναι ισχυρά κερματισμένοι και η βραχομάζα χαρακτηρίζεται φτωχής έως πολύ φτωχής ποιότητας. Άρα, οι παραποτάμιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς, οι χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί του Νεογενούς, οι σχιστόλιθοι και οι σχηματισμοί που συνιστούν το οφειολιθικό μίγμα (melange), απαιτούν πρόσθετα μέτρα υποστήριξης. Δευτερογενώς ευαίσθητοι σχηματισμοί είναι οι οφειολιθικοί σχηματισμοί, ο γκριζόχρωμος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος του Κρητιδικού, και οι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού (Πίνακας 3).

Στο σύνολό της η ποιότητα της βραχομάζας χαρακτηρίζεται φτωχή έως πολύ φτωχή με τοπικές θέσεις καλής έως μέτριας ποιότητας.

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)

Η γεωτεχνική ταξινόμηση σύμφωνα με τον Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI, *Hoek et al, 1998*) στηρίζεται στην ποιοτική εκτίμηση του συνόλου της βραχομάζας κι όχι μόνο των μηχανικών χαρακτηριστικών της. Ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας βασίζεται στην ταξινόμηση της δομής του πετρώματος, όσον αφορά τους όγκους που σχηματίζονται εξαιτίας των κατατμήσεων και των διακλάσεων, καθώς και την επιφανειακή κατάσταση των ασυνεχειών. Έτσι, γνωρίζοντας την κατάσταση των τοιχωμάτων των διακλάσεων και τη δομή της επιφάνειας δημιουργείται μια βάση για την περιγραφή μιας ευρείας σειράς τύπων βραχωδών μαζών από όπου μπορεί να εκτιμηθεί η τιμή του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (*Hoek, 1994*).

Έναντι της μεθόδου RMR, η μέθοδος αυτή στηρίζεται περισσότερο στην γεωλογική παρατήρηση φαίνεται όμως να καταλήγει σε περισσότερο συντηρητικά αποτελέσματα. Έτσι, σύμφωνα με τη μελέτη των Hoek et al, 1998, για το σχιστόλιθο της περιοχής Αθηνών, η μέθοδο GSI έδωσε τιμές μικρότερες από τις τιμές που έδωσε η μέθοδος RMR.

Πίνακας 1. Τιμές ταξινόμησης κατά RMR και GSI κατά μήκος της σήραγγας (τιμές RMR: από αρχείο «ΕΡΓΟΣΕ»)
Table 1. RMR and GSI rock mass classification along the tunnel (RMR values: according to "ERGOSE Co" archives)

Χ.Θ. - Χ.Θ.	RMR	GSI	Χ.Θ. - Χ.Θ.	RMR	GSI
2+430-2+525	0-20	10-20	4+445-4+459	42-47	40-45
2+525-2+884	0-20	<10	4+459-4+464	40	35-40
2+884-2+930	35-38	30-35	4+464-4+492	30-38	30-35
2+930-2+979	25-27	30-35	4+492-4+502	29	30-35
2+979-3+349	0-20	10-20	4+502-4+581	0-20	20-25
3+349-3+354	26	20-25	4+581-4+621	45-51	45-50
3+354-3+386	30-32	35-40	4+621-4+641	32-35	35-40
3+386-3+480	25-28	25-30	4+641-4+683	45-52	35-40
3+480-3+550	0-20	10-20	4+683-4+696	21-29	30-35
3+550-3+583	0-20	20-25	4+696-4+752	0-20	10-20
3+583-3+608	25	20-25	4+752-4+760	42	40-45
3+608-3+668	0-20	20-25	4+760-4+765	69	50-55
3+668-3+685	21-29	25-30	4+765-4+780	50	45-50
3+685-3+703	41-45	35-40	4+780-4+782	70	50-55
3+703-3+755	0-20	20-25	4+782-4+792	57-60	45-50
3+750-3+800	0-20	15-25	4+792-4+795	47	40-45
3+800-3+818	0-20	15-20	4+795-4+802	60	45-50
3+880-3+933	16-18	20-25	4+802-4+815	66-69	50-55
3+933-3+946	16-18	20-25	4+815-4+825	57	45-50
3+946-3+955	31	30-35	4+825-4+829	47-48	40-45
3+955-4+005	18-19	20-25	4+829-4+900	0-20	20-25
4+005-4+025	30-38	35-40	4+900-4+909	0-20	25-30
4+025-4+076	41-45	40-45	4+909-4+911	34	30-35
4+076-4+175	0-20	15-20	4+911-5+012	43-51	40-45
4+175-4+189	21-23	25-30	5+012-5+051	61-64	50-55
4+189-4+216	0-20	20-25	5+051-5+064	45-49	40-45
4+216-4+222	22-24	25-30	5+064-5+073	61	50-55
4+222-4+345	0-20	20-25	5+073-5+079	48	40-45
4+407-4+439	0-20	25-30	5+079-5+089	36-38	35-40
4+439-4+445	36-37	35-40	5+089-5+095	0-29	25-35

Πίνακας 2. Εκτίμηση του μέτρου παραμόρφωσης
Table 2. Estimation of the deformation modulus.

Είδος σχηματισμού	Μονοαξονική αντοχή σ_{ci} (MPa)	Μέτρο Παραμόρφωσης, E_m (GPa)	Κατηγορία βραχομάζας
Παραποτάμιες αποθέσεις Τεταρτογενούς	4	0,2-0,35	C
Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί Νεογενούς	6	0,24-0,43	$B^- - C^+$
Σερπεντινίτες Ηωελληνικού τεκτονικού καλύμματος	29	0,54-1,71	B
Γκρίζοι-γκριζόλευκοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Κρητιδικού	21	0,83-3,45	$A^- - B$
Παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Κρητιδικού	52	2,28-9,6	$A^- - B$
Εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων Τριαδικού-Ιουρασικού	52	1,28-1,71	B^+
Γραφιτικός σχιστόλιθος Τριαδικού-Ιουρασικού	24	0,64-0,76	B^-

Πίνακας 3: Ταξινόμηση της ποιότητας των γεωλογικών σχηματισμών κατά RMR και GSI κατά μήκος της σήραγγας.
Table 3. Rock mass classification according to methods of RMR and GSI.

Γεωλογικός σχηματισμός	Εύρος GSI	Κατηγορία ταξινόμησης RMR	Εύρος RMR
Παραποτάμιες αποθέσεις	<10	V	0-20
Χερσαίοι και λιμναίοι σχηματισμοί	10-20	V	0-20
Σερπεντινίτες	10-30	V - IV	0-23
Αμφιβολίτες	25-35	V - IV	0-38
Οφειόλιθοι	10-35	V - IV	0-29
Σχιστόλιθοι	10-20	V	0-20
Ασβεστολιθικά πετρώματα Πελαγονικής ζώνης			
Γκριζόχρωμος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος	20-25	V	16-18
Εναλλαγές μαύρων και λευκών μαρμάρων	20-30	V - IV	0-25
Λατυποπαγής ασβεστόλιθος	25-40	IV - III	21-45
Τεμάχη μαρμάρου σε αμμώδες υλικό	10-20	V	0-20
Έντονα κατακερματισμένοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	20-25	V	16-18
Τεκτονικό λατυποπαγές	10-20	V	0-20
Εξαλλειωμένα μάρμαρα χωρίς στρώση	10-20	V	0-20
Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού			
Γκρίζοι-γκριζόλευκοι λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	20-45	III - IV - V	0-48
Παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι	30-55	IV - III - II	21-70

Οι τιμές που προέκυψαν από την ταξινόμηση που πραγματοποιήσαμε στη σήραγγα του Πλαταμώνα, φαίνονται στον Πίνακα 1. Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά GSI η βραχομάζα μπορεί να χαρακτηριστεί στο σύνολό της ως βραχομάζα μέσης έως μικρής αντοχής.

Η τιμή του GSI σε συνάρτηση με τη μονοαξονική συμπιεστική τάση σ_{ci} μπορεί να οδηγήσει στην εκτίμηση του μέτρου παραμόρφωσης E_m της βραχομάζας σύμφωνα με τη σχέση:

$E_m = (\sigma_{ci}/100)^{1/2} \times 10^{[(GSI-10)/40]}$ (*E_m σε Gpa, και ισχύει για σ_{ci}<100 MPa, Hoek & Brown, 1998*)

Λαμβάνοντας υπ' όψη και τα αποτελέσματα της δοκιμής σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήσαμε σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, εκτιμήσαμε το μέτρο παραμόρφωσης E_m που δίνεται στον Πίνακα 2, για τους σχηματισμούς που μελετήσαμε, κατά μήκος της σήραγγας.

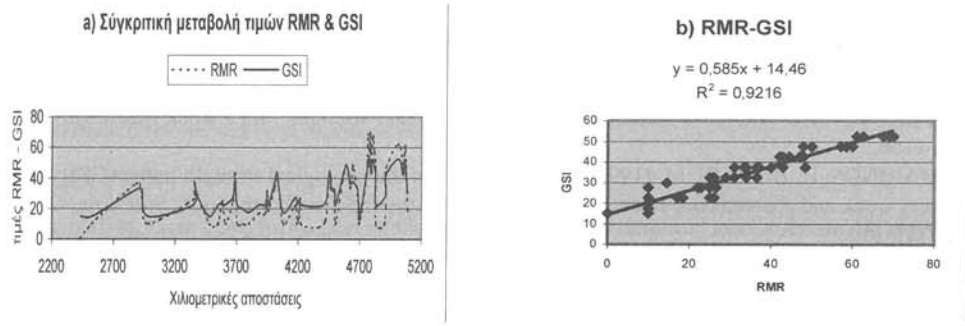
Στον Πίνακα 3 δίνεται συνοπτικά συγκριτική ποιοτική ταξινόμηση βάση των μεθόδων RMR και GSI, κατά

γεωλογικό σχηματισμό όπου μπορούν να διαγνωστούν οι ασθενέστεροι σχηματισμοί.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τους διάφορους σχήματισμούς, που δίδονται στον Πίνακα 3, φαίνεται ότι το εύρος των τιμών GSI είναι πιο περιορισμένο από το εύρος των τιμών RMR δίνοντας έτσι πιο λεπτομερή και συγχρόνως πιο ρεαλιστική περιγραφή των πραγματικών συνθηκών ποιότητας της βραχομάζας. Τοποθετώντας τις τιμές RMR και GSI (που εκτιμήθηκαν κατά μήκος της σήραγγας, στις ίδιες χιλιομετρικές θέσεις) σε διάγραμμα συσχέτισης προκύπτει η σχέση GSI = 0,585RMR + 14,46 με συντελεστή συσχέτισης R^2 =0,92 (Εικ.3).

Σύμφωνα με την παραπάνω εμπειρική σχέση, οι τιμές GSI και RMR ταυτίζονται για πτωχής ποιότητας βραχομάζα, στα όρια των κατηγοριών IV – III (GSI ≅ RMR ≅ 35). Η παραπάνω εμπειρική σχέση εκτιμήθηκε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο σε οφειολιθικά όσο και σε ανθρακικά πετρώματα.



Εικ. 3. Διαγράμματα a) συγκριτικής μεταβολής και b) συσχέτισης των τιμών RMR και GSI, κατά μήκος της σήραγγας του Πλαταμώνα.

Fig. 3. Diagrams of a) comparable change and b) correlation of RMR and GSI values along the tunnel

Με βάση τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω ταξινομήσεων, ο σχηματισμός των οφειολίθων στις Χ.Θ.2+540-2+870 και Χ.Θ.3+500-3+550 απαιτεί αυξημένα μέτρα υποστήριξης. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι δυο ταξινομήσεις. Οι οφειόλιθοι στις Χ.Θ.4+200-4+350 και Χ.Θ. 4+830-4+900 απαιτούν ισχυρότερα μέτρα υποστήριξης σύμφωνα με τη μέθοδο RMR, ενώ οι ασβεστόλιθοι που βρίσκονται στις Χ.Θ.3+680, Χ.Θ.3+900-4+000, Χ.Θ.4400, Χ.Θ.4+580-4+700 (παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος), Χ.Θ.4+750-4+830, Χ.Θ.4+900-5+100 δεν χρειάζονται άμεση υποστήριξη σύμφωνα και με τις δύο μεθόδους. Περισσότερο αυξημένη υποστήριξη σύμφωνα με τη μέθοδο GSI απαιτούν οι ασβεστόλιθοι των θέσεων Χ.Θ.2+900-3+000 και Χ.Θ.3+300-3+500. Αντίθετα, σύμφωνα με τη μέθοδος RMR ο ασβεστολιθικός όγκος της θέσης Χ.Θ.4+350-4+500 απαιτεί ισχυρότερη υποστήριξη.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή της σήραγγας του Πλαταμώνα αποτελείται από οφειόλιθους επωθημένους πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά πετρώματα του καλύμματος της Πελαγονικής ζώνης. Η σήραγγα διαπερνά οφειολιθικούς σχηματισμούς, Κρητιδικό ασβεστόλιθο, ιζήματα του Νεογενούς, σχηματισμούς του οφειολιθικού μίγματος, Τριαδικοϊουρασικούς ασβεστόλιθους του ανθρακικού καλύμματος της Πελαγονικής ζώνης, σχηματισμούς οφειολίθων επωθημένων επάνω στον παχυστρωματώδη ασβεστόλιθο της Πελαγονικής ζώνης.

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχομάζας σύμφωνα με τη μέθοδο του RMR (Beniawski,1976) και με τη μέθοδο του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI, Hoek et al, 1998) έδειξαν πως ο σχηματισμός των οφειολίθων απαιτεί αυξημένα μέτρα υποστήριξης στις Χ.Θ.2+540-2+870 και Χ.Θ.3+500-3+550, ενώ οι θέσεις του παχυστρωματώδους ασβεστόλιθου δεν απαιτούν άμεση υποστήριξη. Ισχυρή υποστήριξη σύμφωνα με τη μέθοδο RMR απαιτούν οι οφειόλιθοι στις Χ.Θ.4+200-4+350 και Χ.Θ.4+830-4+900 καθώς και ο ασβεστόλιθος της Χ.Θ.4+350-4+500. Η μέθοδος του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) προτείνει ισχυρότερη υποστήριξη για τους ασβεστόλιθους των Χ.Θ.2+900-300 και Χ.Θ.3+300-3+500. Οι ασβεστόλιθοι που δεν χρειάζονται άμεση υποστήριξη, σύμφωνα με τις δύο μεθόδους, βρίσκονται στις Χ.Θ.3+680, Χ.Θ.3+900-4+000, Χ.Θ.4400,

Χ.Θ.4+580-4+700 (παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος), Χ.Θ.4+750-4+830, Χ.Θ.4+900-5+100.

Συγκρίνοντας τις τιμές των δύο μεθόδων προκύπτει ότι οι τιμές GSI έχουν μικρότερο εύρος από τις τιμές RMR με αποτέλεσμα η μέθοδος του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής να δίνει πιο λεπτομερή και πιο ρεαλιστική περιγραφή των πραγματικών συνθηκών της βραχομάζας γεγονός που αντανακλά και στη λεπτομερέστερη περιγραφή των μέτρων υποστήριξης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνα η μεταβολή των τιμών RMR και GSI ορίζεται από τη σχέση GSI = 0,585RMR + 14,46 εμφανίζοντας σημαντική συσχέτιση, R^2 =0,92.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε την ΕΡΓΟΣΕ για τα στοιχεία που μας διέθεσε, τα οποία αξιολογήσαμε κατάλληλα με στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AFROUZ, A. (1992): "Rock Mass Classification Systems and Modes of Ground Failure", *CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton*, Florida, p.p.195.

BENIAWSKI, Z.T. (1976): "Rock mass classification in rock engineering", *Proc. Symp. Expioration Engineering,* Johannesburg, pp. 97-106.

HOEK, E. (1994): "Strength of rock and rock masses", ISRM News J, V2, pp. 4-16.

HOEK, E. & BROWN, ET. (1998): "Practical estimates of rock mass strength", Int J Rock Mech Min Sci, V34, pp. 1165-1186.

HOEK, E., MARINOS, P., BENISSI, M. (1998): "Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation", *Bull. Eng. Geol. Env., V57*, pp. 151-160.

Ι.Γ.Μ.Ε. (1987): "Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000 - Φύλλο Ραψάνη"

Μουντράκης, Δ. (1985): "Γεωλογία της Ελλάδας", University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 207p.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1749-1754, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1749-1754, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

CONDITION OF THE SEA WALL AT FARM COVE, AUSTRALIA

D. DRAGOVICH[1]

ABSTRACT

The history and present condition of the sandstone sea wall at Farm Cove, are described. The wall has cultural and historical significance and forms the seaward margin of land reclaimed for the Royal Botanic Gardens over the period from 1849 to 1879. The landward fill reaches to high tide mark and the wall extends about a further metre above this level. Both stones and mortar are subject to very active salt weathering. Maintenance has involved block replacement, repointing, cementing over numerous lower course blocks, use of epoxy cement, and infilling of weathered surfaces. Pitting/hollowing is most frequent in the top course of stones. Past unsympathetic repairs include use of a weatherable reddish sandstone, and sawn blocks of durable pale sandstone.

KEY WORDS: sandstone, sea wall, heritage conservation

1. INTRODUCTION

The sea wall at Farm Cove forms part of the Royal Botanic Gardens and associated public space in Sydney, Australia. The wall has historical and cultural significance due to its association with the development of Sydney and the Royal Botanic Gardens in the 19th century. As noted by Wilson (1991), the scale and quality of design of the sea wall and its use of local materials make it unique among various early reclamation projects. Its importance to the Royal Botanic Gardens and its sound construction have resulted in it remaining mostly intact. Because the sea wall was built of sandstone blocks which were placed in in a salt-exposed environment, repair and maintenance of the wall has been undertaken at various times, with the most recent work being completed in 2000.

Farm Cove is a small sheltered inlet which was used as anchorage for sailing vessels in the 19th century and formed a site of early European settlement. Part of the area at the head of the Cove was cultivated for food crops - the "Governor's kitchen garden" - and this later became part of the Royal Botanic Gardens. The wall extends beyond the Gardens proper to Mrs Macquaries Point within the Domain, an adjacent area of public parkland.

In 1848 Charles Moore was appointed Director of the Royal Botanic Gardens and he proposed that intertidal flats be reclaimed for the Gardens. The following outline of the sea wall project is based mainly on information presented by Gilbert (1986) and Wilson (1990). Before the sea wall was constructed, progressive reclamation was effected by building a dyke and then infilling the landward side. The dyke would then provide the base for a stone wall. This process was undertaken in various sections around the Cove and at different times (Figure 1). At first it seems that refuse was included in the landfill but after about 1855 much of the infill was comprised of silt that had been deposited by the Tank Stream into the neighbouring inlet of Sydney Cove. The silt was transferred in barges and the saline sediment later manured to form part of the Lower Garden. However at certain times barge sediment was being deposited without the protection of a dyke, and infill was lost by tidal action. The sea wall itself was built slowly. Initially Moore had requested permission to re-use stone from demolished remains of Old Government House but the Governor refused. Moore continued to seek funding to maintain work on the reclamation project. Eventually Edward Moriarty of the Department of Public Works planned the most seaward dyke, completed in 1869, on which the final sea wall was constructed. On completion of this wall was removed. The outer wall, which became known as the "Thirty Years Wall", was finally completed in 1879.

2. THE SEA WALL

The sea wall is constructed of sandstone blocks with mortar-filled joints. In cross section, the lowest blocks are set on boulders and gravel, with the base block being approximately 1.4 metres wide (McBean and Crisp, 1990). Resting on the footing course are four usually 80-cm wide blocks, with the third of these extending just

1. University of Sydney, Geography F09, Sydney 2006, Australia.

above high water mark. A further two courses of blocks rise above this; the upper-most block has a width of approximately 60cm. The lowest three courses contain stones that are about 60cm high, with the upper three courses being between 30cm and 40cm high. The clay, silt and gravel infill behind the wall extends to the high water mark, so the wall generally has a height of about 1 metre above the infill. This infill is now sealed by a wide bituminised pathway. Drainage slots have been provided at numerous intervals along the wall, in order to allow runoff from the surrounding higher ground to drain into Farm Cove as well as ensuring that seawater from over-topping storm waves is not trapped behind the wall. During storms and high tides seawater also enters the reclaimed area directly through the drainage slots. Despite potential ground settling and instability from the mixed nature of infill materials, the wall is structurally sound.

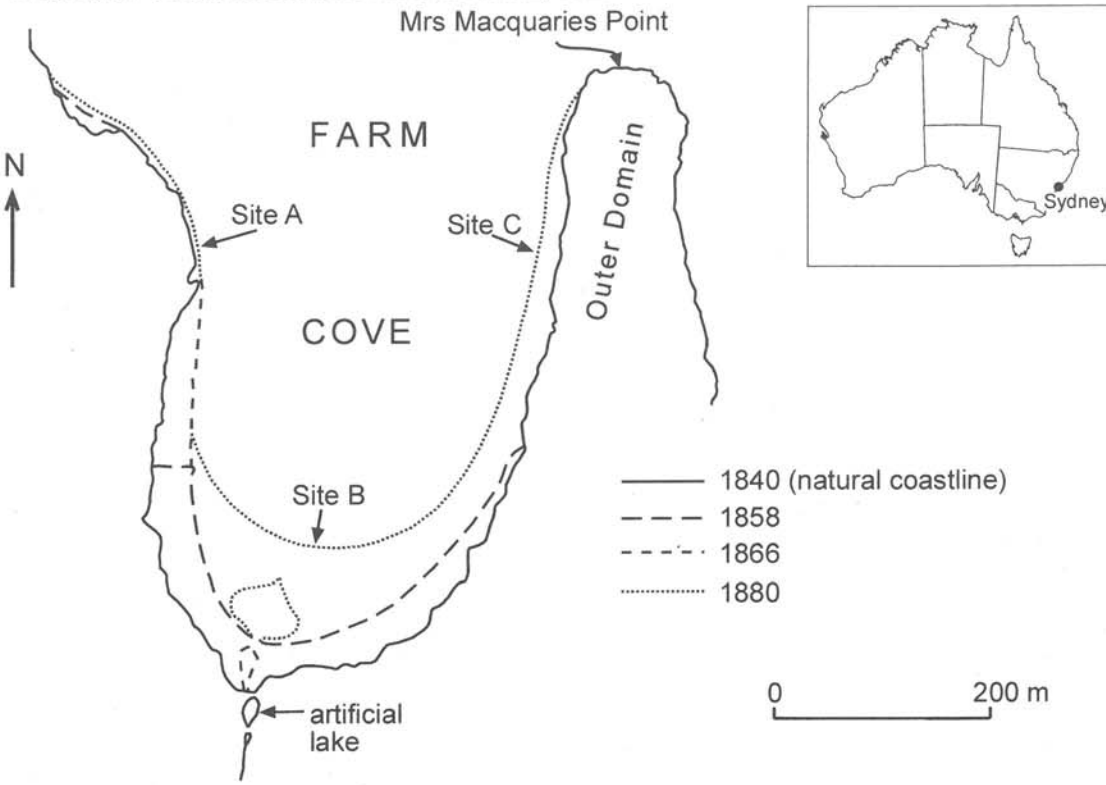


Fig.1. Location of Farm Cove, showing successive reclamation since 1849 (based on Wilson, 1990), and the location of Sites A, B and C of this study.

3. NATURE OF STONE

All blocks are sandstone, with the majority being the Triassic Hawkesbury sandstone found throughout the Sydney Basin. This rock is a fine- to coarse-grained sandstone with varying ratios of quartz to clay matrix. The high quality "yellow block" variety has been used extensively for major public buildings. Once this stone is cut it develops a mellow yellow-brown colour. At Farm Cove most of the sandstone is not yellow block but a strongly siliceous, medium- to coarse-grained variety with a quartz content of 70-80% and clay of 8-14%. This stone is durable because of its secondary quartz cement. Following exposure, it remains close to its quarried colours of white, grey or pale yellow (Franklin, 2000). The inner-city quarries from which this stone was derived have long since been closed, creating difficulties in identifying suitable replacement stone.

The wall is constructed of a single row of stone blocks which are all about 60cm thick in the exposed, above-water sections. Block lengths are variable, with some stones up to 160cm long. The height of individual blocks also varies, from about 21cm to 60cm. Towards Mrs Macquaries Point the wall has only two courses above the bitumenised walkway surmounting the infill, with the top course being an average 22cm high and the lower course about 40cm high. Only 10cm or so of the next course is visible above the walkway surface.

The top course of stone has a triangular cross section on its upper surface. The main face of each stone has

a convex shape with a rough rock-faced finish; margins are chisel-draughted. Other courses are similarly margined and finished on the main face. Joints are infilled with mortar. In places where joints and adjacent stones are relatively unweathered, joints are approximately 6mm to 12mm wide. Additional mortar has been used where weathered rock occurs adjacent to joints, with mortar-covered areas in these cases exceeding 10cm in width. Tool marks are common on the central rough rock finish section of each block, and some marks have been enlarged by weathering. Many blocks have a central (surface) hole that was used when hoisting the stones into place.

4. WEATHERING ENVIRONMENT

Sydney is located on the coast in a warm temperate climate. Annual rainfall averages 1222 mm, with a uniform seasonal distribution showing a slight maximum in autumn. Mean maximum and minimum temperatures in summer (December, January, February) are 25.5°C and 18.2°C respectively. Winter temperatures have a mean maximum of 16.9°C and a minimum of 8.7°C. Due to the coastal location, frosts are absent and the lowest temperature recorded is 2.1°C (Australia, Bureau of Meteorology, 2001).

In terms of stone deterioration, the weathering environment of the sea wall is dominated by salt input and its consequent acceleration of stone decay. The tidal range is approximately 2 metres, with high water mark being about 1 metre below the top of the sea wall. With strong winds and waves, sea water can over-top the wall and be deposited directly on stonework. At other times wind carries spray and (salt) aerosols, delivering saline solutions to the wall. A high number of daily sunshine hours - 6.8 hours on average - ensures rapid evaporation of salt solutions, resulting in frequent crystallisation/ solution cycles.

Salt weathering has led to uneven and significant surface recession, round-edged hollowing, small-scale pitting, and honeycombing. Salt has affected both the stone and the mortar. Because of the substantial hollowing of stones and serious loss of mortar, various repairs have been carried out on the wall.

5. NATURE OF REPAIR WORK

Stone

Individual stone blocks have been replaced at different times, although the most substantial repairs were carried out in the late 1980s and in the late 1990s. Stones in the top course are relatively easy to replace because they are accessible and their removal does not affect structural stability. However stones in the lower courses can only be replaced by removing stones above them, necessitating more major associated work for replacement.

Selection of replacement stone should ideally take into account both durability and colour. Most of the original blocks are pale buff to yellow in colour, with replacement blocks also being variable in colour. Local banded sandstones have generally been avoided as they often have low durability in coastal environments. Even so, major block-by-block variations in durability occur in local sandstones when stone is purchased in "quarry runs" rather than on an individual block basis. Earlier repairs allowed for replacement of original stone with a weatherable reddish sandstone (from Queensland) whose colouring is not in accord with that of the overall structure; rapid deterioration of this stone has been documented over periods as short as a decade. Stone finish is now standardised to convex rough rock faces and chiselled margins.

Mortar

The original lime mortar used in joints has needed repair. Mortars and epoxy cement of varying quality have been used to infill hollows weathered in the stone, to coat the exposed top surface of the uppermost course of stones, to repoint between blocks, and in some cases to re-coat entire faces of weathered stone. Because sandstone in the sea wall is relatively permeable once weathered, the most recent repairs had a stipulation that the mortar employed be more permeable than the stone and that specified proportions of cement, lime and sand be utilised (Tender Document, extract, no date). Older replacement mortar often persisted longer than the stones it surrounded, suggesting that it behaved as a relatively impermeable material which concentrated moisture along the permeable/ impermeable boundary, to the detriment of the stone.

Numerous stones in the lowest course of the wall on the western side of Farm Cove have been cement-coated. Many of the blocks had deteriorated badly, showing hollowing and honeycombing before being repaired in this way (some photographs of the pre-repair condition are presented in McBean and Crisp, 1990). The lowest course is vulnerable to moisture effects involving salt, as runoff would dissolve oceanic salts and it is likely

that salts may also be derived from the infill sediments. In addition, occasional seawater incursions through drainage slots add to the salt load.

Cement/mortar coatings, usually less than 1cm thick, appear in some sections on the top surface of the uppermost course. Where this coating has deteriorated and exposed the underlying stone, the rock surface appears to be uneven but not excessively pitted. Wide re-pointing has been undertaken between many of the older blocks. Mortar extends over the stone margins, probably to infill previous pitting or surface loss. Joints between new blocks are narrower and pointing is correspondingly thinner.

6. CURRENT CONDITION

The most severely weathered stones have been either removed and replaced, or cemented over. Less affected stones may have remained untreated. Existing weathering features therefore include both inherited and post-maintenance examples. Planning Australia Workshop (1998) lists a total of 172 stones for replacement, 163 of which were located in the lower course of sections with a three-stone course. The high replacement rate in this course was thought to result from unsatisfactory treatment undertaken in previous maintenance work, along with the strong exposure of this course to seawater.

Stone and mortar condition were examined for this study at three positions on the sea wall. At each site observations were made on a short section incorporating ten top-course stones and all stones in the courses below. One site was located on the western side (Site A), one at the head of the Cove (Site B), and the third in the Domain on the eastern side of the Cove (Site C) (Figure 1).

The presence of pitting, hollowing, honeycombing and general surface reduction was recorded, along with stone colour. The term "pitting" described pits that were usually between 10 and 20mm deep, and mostly with well-defined edges. "Hollowing" referred to round-edged, shallow and wider depressions on rock faces. As pits graded into hollows, making categorisation uncertain, results are listed for pits/hollows in one group and honeycombs in the other. The condition of all stones was described for their landward faces only. In addition, the presence of dark reddish replacement blocks with visible bedding was noted.

The use of cement-coatings on stones was taken to indicate substantially weathered surfaces. At Site A, all ten of the lower course stones were cement-covered (Table 1), a result consistent with the stone course described by Planning Australia Workshop (1998) as the most vulnerable to salt effects. At Site B, four of the ten top-course stones had a cement coating either on the top surface or face; only one stone in the lower course was cement-covered. At Site C a higher proportion of all stones were relatively recent replacements and cement repairs had not been made.

Course		Total	Cement-covered
Site A	Top	10	0
	Middle	9	0
	Lower	10	10
Site B	Top	10	4
	Middle	11	0
	Lower	10	1
Site C	Top	10	0
	Lower	11	0

Table 1. Number of cement-covered stones on sea wall at Sites A, B and C.

Many stones are insufficiently weathered to warrant replacement or cement-coating but do show pitting or hollowing (Figure 2). Pitting/hollowing was most evident at Site A, where all stones in the top course were affected and six stones in the middle course (Figure 3). Five of the cement-covered blocks in the lower course showed fretting/pitting. At Site B, eight of the middle course stones were pitted/hollowed, along with others in the top and lower courses. Nine of the ten stones in the top course at Site C had pitting/hollowing. The lower course at Site C was artificially pitted with tool marks from stone working but a number of these marks seemed to show enlargement from weathering. In total, pitting/ hollowing was most evident in the top course of stones (Figure 3) with more than 80% of stones affected.

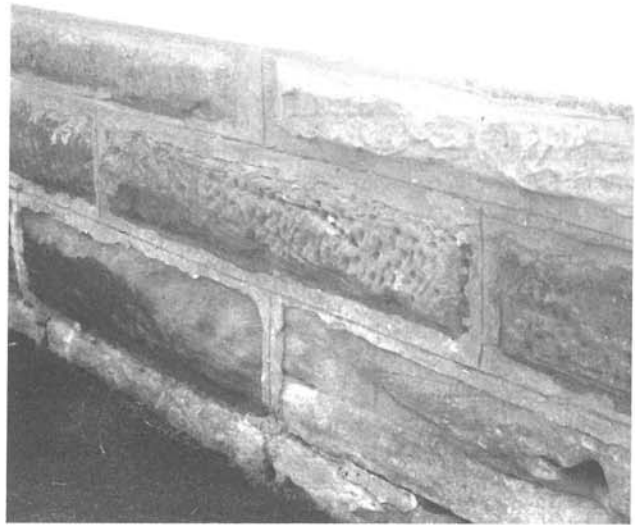


Fig.2. Cement-coated block in top course, pitting in middle course, and surface recession of reddish sandstone in lower course. Wide re-pointing has been used to cover weathering.

Some pitting appeared to be located at points or lines of weakness within the rock. Other apparently random distributions were probably initiated by tool marks. On many of the blocks in the uppermost courses at Sites A and C, lines of very small pits along the top section of the face suggested that preferential salt deposition occurred on the upper surface of the convexly-protruding rough rock face. At Site C these pits occurred both along the top and sometimes the bottom junctions, but rarely along the vertically-oriented side junctions. Both micro-locations allowed for preferential deposition (top) or retention (bottom) of salt transported to the rock surface.

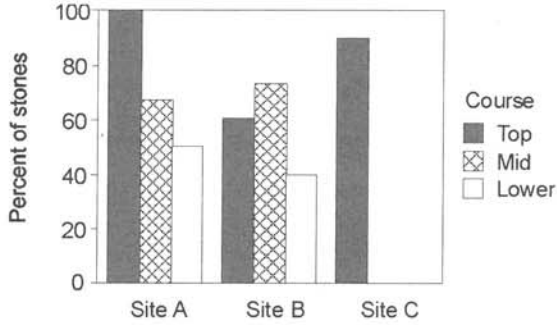


Fig.3. Percentage of stones with pitting/hollowing in the top, middle and lower courses at Sites A, B and C at Farm Cove.

Surfaces were described as having honeycombs only where a lattice-work of relatively sharp-edged pits had developed. Only five examples were noted, four at Site A and the fifth at Site C. Multiple pits which did not form part of a lattice-work, were not linked in a linear (bedding plane) pattern, and were not separated by relatively sharp-edged cell walls were classed as pitting features. Some of the hollowing recorded may have represented weathered and previously honeycombed surfaces.

On-going maintenance and repairs have meant that investigation of possible effects of aspect could not be carried out. Although some differential input of salts from prevailing winds may occur, the general salt loading on the wall is extreme in all positions. Current weathering condition seems strongly related to variations in the durability of both original and replacement blocks. The dark reddish bedded sandstone used as a replacement stone is unsuitable in relation to both colour and weatherability criteria. Strong etching and sometimes linear

pitting develops along the bedding planes, accelerating surface retreat. The stone is a conspicuously different colour from the variatiants of white, grey and yellow which constitute most of the wall. Once they require replacement, these reddish sandstone blocks will be substituted with grey or pale yellow stone of greater durability.

7. CONCLUSION

Repair and maintenance work on the sea wall at Farm Cove now takes into account the cultural and historical significance of a structure located in an area with high salt load and intense weathering. Major recent work has involved block replacement and repair, with the remaining pitted/hollowed blocks being generally in the uppermost or middle course. Durability of original and replacement blocks is variable and visible deterioration can occur within ten years. In the longer term, previously replaced blocks which are unsympathetic to the appearance of the main structure due to their colour or form of preparation will be removed.

REFERENCES

AUSTRALIA BUREAU OF METEOROLOGY (2001) *Climate Averages*. http://www.bom.gov.au/climate/averages/tables/cw_066062.shtml (28 May 2001)

FRANKLIN, B.J. (2000) Sydney dimension sandstone: the value of petrography in stone selection and assessing durability. In McNally, G.H. and Franklin, B.J. (eds) *Sandstone City: Sydney's dimension stone and other sandstone geomaterials*, EEHSG of Geological Society of Australia, Springwood, pp.98-116.

GILBERT, L. (1986) *The Royal Botanic Gardens, Sydney: a history 1816-1985.* (Oxford University Press, Melbourne).

McBEAN and CRISP PTY. LIMITED (1990) *Study of Sea Wall, Farm Cove, Royal Botanic Gardens*. McBean and Crisp Pty. Limited, Sydney.

PLANNING WORKSHOP AUSTRALIA (1998) *Heritage Impact Assessment of Maintenance Works at Farm Cove Sea Wall, Royal Botanic Gardens, Sydney*. Planning Workshop Australia, Sydney.

TENDER DOCUMENT (undated extract) *State Projects, Section 3. The Works*.

WILSON, G. (1991) *Conservation Study: Seawall Farm Cove*. Prepared for the Environmental Design Section, Public Works Department, New South Wales.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1755-1764, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1755-1764, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

TUNNELLING IN LIMESTONE TERRAIN: THE NEED OF THE KNOWLEDGE OF THE HYDROGEOLOGICAL MODEL

P.G. MARINOS[1]

ABSTRACT

Although limestone and most carbonate rocks exhibit good geotechnical behavior, when karstic, they may induce hazards during tunnelling operations, which may evolve into huge problems. Groundwater is the main source of problems and so is the crossing of voids and caverns, empty, aquiferous or filled. In order to estimate the probability of encountering such conditions and be prepared to face them, a thorough hydrogeological study should complement the traditional site investigation. This study has to consider a broader area embracing the whole hydrogeological basin of the karstic aquifer with background knowledge of the tectonic and paleogeographic evolution. In this paper a series of hydrogeological models are discussed depending on the internal karstic geometry of the aquifer and the position of the tunnel, either in the transfer or the inundation zone. Each model is associated with its own tunnelling particularities in terms of hazards and countermeasures. A discussion on the solutions to be engineered in order to cross big karstic cavities is presented.

KEY WORDS: Tunnels, limestone, karst, hydrogeological model.

1. INTRODUCTION

Groundwater is often the main source of problems in tunnel construction associated with stability and safety issues. Groundwater control during both construction and operation of the tunnel is one of the most challenging problems faced by tunnel designers and contractors. Drainage facilities from the headings may be required and when the necessary invert grades are not available, the additional trouble and expense of pumping are unavoidable. Water can affect roof and face stability and in appreciable quantity will impede construction. If the host ground is soft and prone to erosion the risk is further increased.

Seepages, or leakages, into underground works from the surrounding aquifer can also affect the surrounding ground and adjacent facilities. Depending on local geology, hydrogeology and geotechnical parameters of the material, a severe environmental impact may be expected. In the opposite case, i.e. when leakages from underground works to the aquifer are possible, the hazard of groundwater contamination has to be considered.

The crossing of voids and caverns, empty, aquiferous or filled with erodable material causes difficulties and the solutions that should be engineered, are often site specific.

Hence, although limestone and carbonate rocks in general exhibit a good geotechnical behavior, when karstic, they may induce all the aforementioned problems in tunnelling operations*. Many large engineering projects involving tunnels are currently under construction in countries where limestones are a very common geological formation. The design of underground excavations in these materials requires knowledge of the geological and hydrogeologic model in which these excavations are carried out.

2. INTERACTION WITH GROUNDWATER; GENERAL CONSIDERATIONS

The interaction of tunnelling with groundwater can be summarized as follows:

During construction

- Inflows of water in the underground space, affecting normal construction procedures and possibly induce face and roof stability.
- Sudden inflows associated with specific and localized geological features, e.g. faults, crushed zones, big karstic conduits etc.
- Decline in yields of springs, decrease of groundwater discharge to wells.
- Development of sinkholes in susceptible areas due to piping or internal erosion.

* IN THE FOLLOWING TEXT THE TERM LIMESTONE REFERS ALSO TO ALL CARBONATE ROCKS THAT UNDERGO KARSTIFICATION

1. National Technical University of Athens, Faculty of Civil Engineering, Athens, 106 82, GREECE, marinos@central.ntua.gr

- Acceleration of dissolution of soluble sediments (e.g. gypsum).
- Unacceptable settlements, where compressible fine-grained soils or heavily fractured rock masses are present, due to the increase of effective stresses by lowering of the groundwater table.
- Temporary contamination of groundwater occurring at lower elevations, by infiltration of polluting substances used for the construction.

During operation

- Infiltration of used chemically and organically contaminated waters from road or rail tunnels can affect the quality of the groundwater if the tunnels are crossing the unsaturated zone.
- Rise of piezometric levels by the obstruction of groundwater flow by lined tunnels; the rise is effective when the tunnel is located at a shallow depth under a shallow water table and can affect the built environment (foundation, basements) and/or mobilize contaminants in case of saturation.
- Influence of the hydrostatic head on the lining of the tunnel.
- Tunnel collapse by wide fluctuation in hydrostatic pressure associated with normal operation of hydraulic unlined tunnels.
- In the case of water conveyance tunnels with lining deficiencies, the relation between the head of the waters flowing in the tunnel and the head of the surrounding aquifer can cause:
- Inflow of eventually polluted waters in the tunnel and/or development of all the related and abovementioned risks (internal head lower than the head of the aquifer). Underground excavations containing fluids such as petroleum products at near-atmospheric pressures can be left unlined if the rock quality is high and if the excavation is below the water table since the fluids are contained by inward seepage of groundwater
- leakages from sewer tunnels can contaminate the surrounding aquifer (interior head higher than head of the aquifer); leakage is a major concern when tunnels carry high-pressure water with toxic ingredients. Such fluids must be contained by an impervious liner.

3. INVESTIGATION

Particularities in karstic rock masses

The particular or even unique hydrogeological features in a karstic environment demand special attention, as there is an increased risk for water inflows and for environmental problems. Tunnelling in limestone terrain may thus be a challenge for both geologists and engineers owing to:

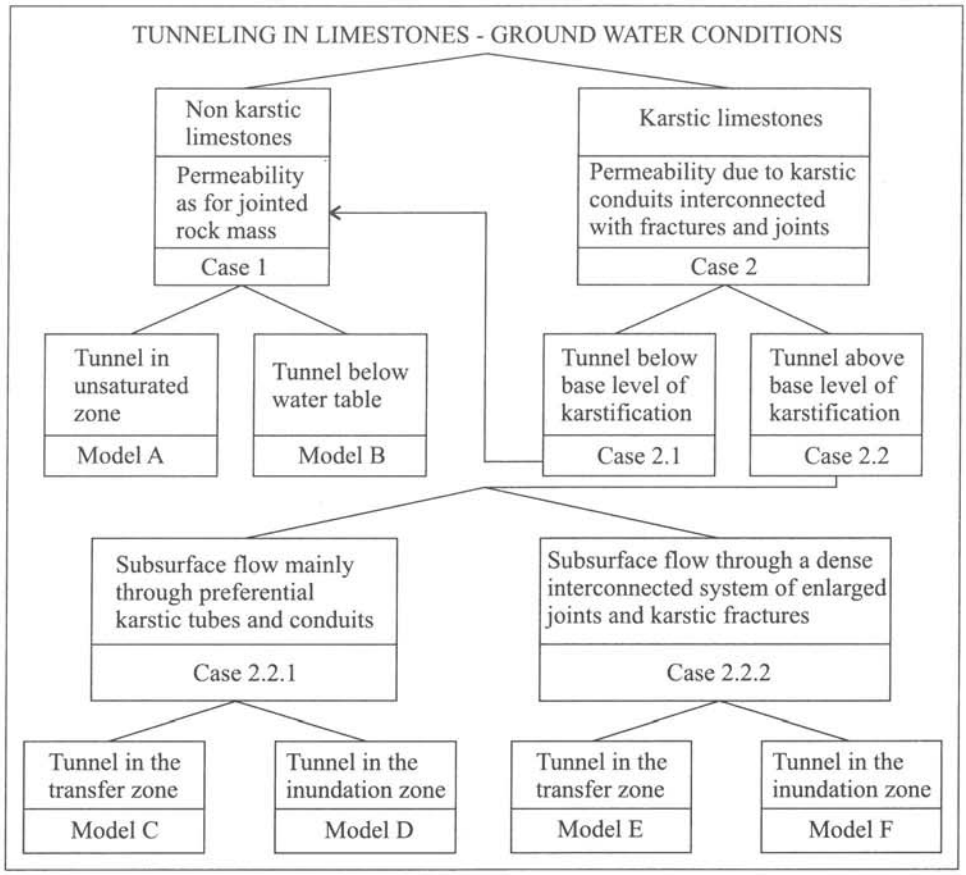
- high coefficient of infiltration from meteoric water.
- very high permeability; often non linear underground flow.
- preservation of high values of permeability at greater depths.
- potential of development of large hydrogeological basins, which may extend far beyond the boundaries of the corresponding geographic - hydrological basins of the considered area, involving, thus, greater quantities of groundwater.
- development of a non uniform, heterogeneous pattern of flow paths; depending on the post-tectonic and paleogeographic evolution of the area, preferential flow conduits and karstic tubes could be developed with a capacity to transmit water at large discharge rates; these conduits drain the surrounding jointed or finely fractured rock mass of low or medium permeability.
- groundwater flow in a flooding manner throughout the transfer ("unsaturated") zone.
- potential crossing of large underground cavities filled eventually with earth materials, with the possibility also to carry a column of perched ground water.

4. POTENTIAL HYDROGEOLOGICAL MODELS TO BE ENCOUNTERED

During the first stage of investigation in a limestone terrain it is crucial to understand the karstic pattern around the tunnel by means of a detailed hydrogeological study*. Such hydrogeological study should include a paleogeographic evaluation of vertical movements and changes of the geographic base level related to past locations of springs, in order to assess the depth of karstification inside the limestone mountain and the geometry of the karstic base level. This level is not necessarily restricted at the present elevation of the surficial springs. Thus, the geological reconnaissance in a broader area is a prerequisite for the investigation regarding tunnelling in karstic terrain.

Dye tracing testing and follow up of the route of major underground flow axes, i.e. between sinkholes (ponors) and springs, greatly assists the understanding of the delay of underground flow and is thus elucidating as to the presence of potential branching of the large karstic conduits or a general dispersion of flow to several directions.

Table 1: Potential hydrogeological models in limestone environment. Note that in some cases (e.g. platform karst) the inundation zone may be insignificant or transient. Carbonate rocks with substantial primary porosity can be considered of the finely jointed type presented in this table. Few climatic type of karstification may produce patterns different from those above.



In this same rationale, the study of the distribution and the hydrographs of springs is always the most reliable tool for understanding the internal structure and geometry of a karstic aquifer, since it reflects the hydrodynamics of the interior of the karstic mass.

The question of whether concentrated or dispersed inflows are to be expected is of great concern since the former may threaten tunnelling operations. A detailed structural analysis of the hydrogeologic basin will define zones of possibly very high permeability (i.e. faults, or systematic bending zones).

Finally, the position of groundwater levels and fluctuations in the investigative boreholes, must be recorded at all times since they reflect the thansmissivity of the whole karstic mass. In the case of tunnelling in mountainous areas, pumping tests from wells, even if feasible, are not as helpful as for tunnels in low relief terrain. In those cases, packer tests restricted in the zone around the tunnel controlling the inflows, is a common practice.

Table 1 intends to provide the main hydrogeological models in a limestone environment. The answer on the most probable model to be crossed will facilitate the appropriate design of the tunnel and the provision of the methods and equipment necessary to face the hazards associated with the karstic conditions to be encountered (Marinos, 2001).

Case 1: Groundwater issues are considered as for a jointed or fractured rock mass. Permeability is generally low and decreases dramatically with depth. Exceptions may occur in fault zones.

- **Model A:** Tunnel will cross a completely dry limestone mass; no risk for floods

* The reader can get insight on karstic processes in some excellent recent review publications (Breznik, 1998, Milanovič, 2000 and White, 1999).

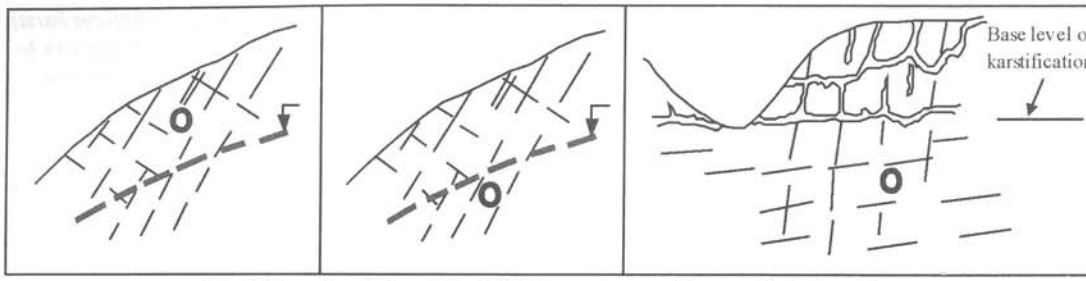


Fig.1 Case 1 and Case 2.1. G.W. Groundwater piezometric level surface

- **Model B:** Tunnel will encounter medium to insignificant flow, depending on the frequency and aperture of joints or fractures.

Case 2: Dramatic difference in behavior compared with other aquiferous media; presence of high permeabilities, large discharges.

- *Case 2.1:* The rock mass surrounding the tunnel has never been exposed to underground erosion due to the paleogeographic evolution of the area or its isolation from infiltration and flow to outlets. In low relief morphology, the past geographic base level of the area to be crossed has never been lower than that of the tunnel. However in large mountainous masses the interior of the mountain could have escaped karstification and the base level of karst lies at much higher elevations than the present level of the springs. Tunnels with such conditions will comply with either model A or B (Fig.1).

- *Case 2.2:* The size of the problems and risks depend on the internal geometry of the karstic system. Two options are possible:

- *Case 2.2.1* when the underground flow is mainly concentrated and governed by distinct preferential large karstic tubes and conduits or,

- *Case 2.2.2:* when flow is guided by a more homogeneous interconnected system of karstic fractures and enlarged joints. The latter is usually the case of well-bedded limestone in areas characterized by a long lasting persistence of an extended flat geographic base level. The former is often the case where continuous downward underground erosion persists as the geographic base level was progressing towards lower elevations or where the lowest geographic level was restricted to a confined zone.

Model C: The tunnel is in the transfer zone of a selectively highly karstified mass. It will cross dry limestones but if located at depth the hazard for personnel and equipment from sudden inrushes and flooding will be high when storms occur in the catchment area. The stability of the tunnel might also be endangered. Erosion of loose filling material may result to a mudflow into the tunnel. Probing ahead should be a common practice. Contamination of the underlying "water table" is a real risk (Fig. 2).

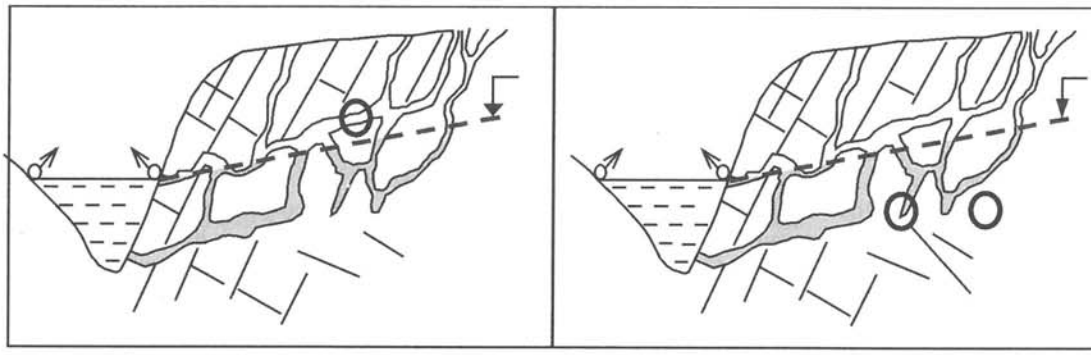


Fig. 2 Case 2.2.1. (Model C) *Case 2.2.1. (Model D)*

Model D: The tunnel is in the inundation zone and will drain moderate quantities of ground water between karstic conduits (D1). These quantities are fed by water stored in fractures between these conduits. Upon encounter of the conduits (D2), considerable increase of inflow will be experienced and violent inrush or flooding of the tunnel cannot be excluded. Probing ahead during construction is an absolute need (Fig.2). Predrainage

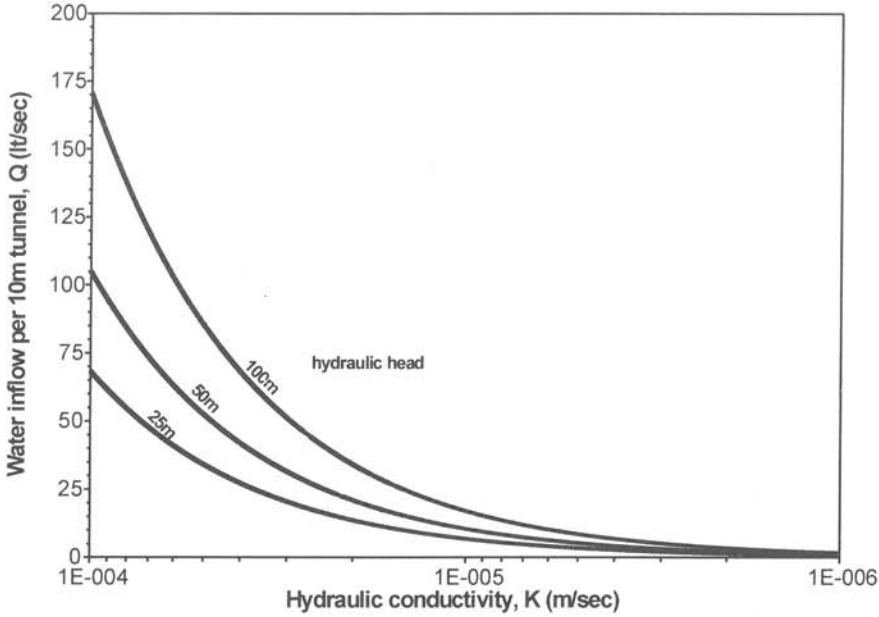


Figure 3: Estimation of water inflow in a 10 m diameter tunnel for steady flow condition. This graph can be applied in the inundation zone of a limestone aquifer for estimating maximum values before transient flow is established and in sections between two main karstic conduits. It does not apply to discharges through the conduits themselves. These conduits may recharge their fractured-jointed limestone environment simulating steady flow conditions.

techniques with site-specific character should be applied in order to assist the crossing of the conduit. A quasi-permanent drainage of the karstic aquifer will last almost all of the construction period. The water resources of the area will be affected. Ground water discharges from the limestone mass between karstic conduits can be approached by the graph of Fig. 3. This estimation does not apply for the discharges of the conduits themselves.

Model E: The tunnel is in the transfer zone of a dense interconnected system of slightly karstified joints and fractures of moderate aperture (Fig.4). It will cross a mass with dripping waters or small amounts of transient water during wet periods. There is no risk for floods as the infiltration is widely dispersed inside the karstic mass.

Model F: The tunnel, being in the inundation zone, will drain, almost permanently significant or very significant quantities of ground waters during the construction, imposing the need for appropriate draining equipment. Violent inrushes should be restricted (Fig.4). An estimation of the transient discharge is given in Fig 5. Special design arrangements are to be implemented (i.e. diversion of waters to the sides of the tunnel). A drainage umbrella in front of the face should_reduce the head and control inflows during the excavation (Fig. 6). Stability problems may occur only if the limestone is brecciated. Groundwater resources can be seriously affected.

5. CONFRONTING THE PROBLEM OF WATERS

Groundwater in tunnelling can be faced mainly with the following generally regarded operations (general information can be obtained from Anonymous, 1992 and Bauer, 1994):

- lowering groundwater level by controlled drainage or dewatering via pumping, thus reducing both head of water pressure and discharge into the tunnel
- grouting

Methods such as freezing, ground control by slurry, compressed air or earth pressure balance boring machines cannot be applied in highly permeable karstic limestone. Usually, drainage is more effective and often cheaper than any other operation. Pre-drainage prior to tunnel construction is probably the most commonly used water control method. The technique basically involves the lowering of the water table by drilling a series of wells or boreholes at either side of the projected tunnel. Drainage can be achieved from within the tunnel itself when dewatering from the surface is impossible. This can be done through drain holes from the face or from a long

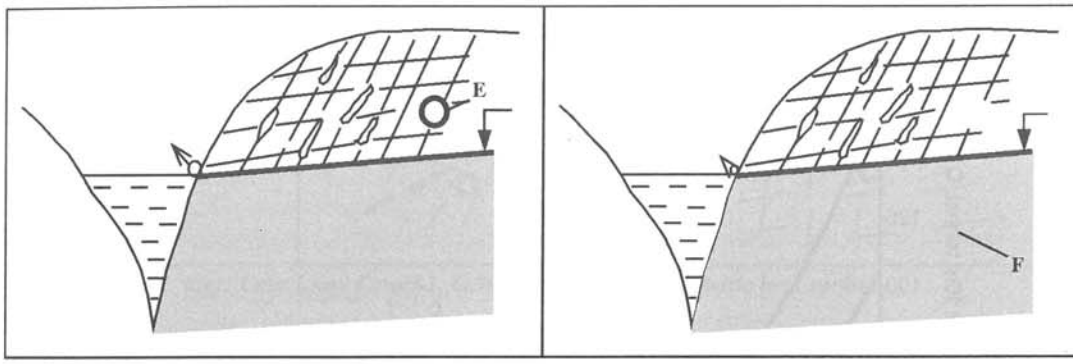
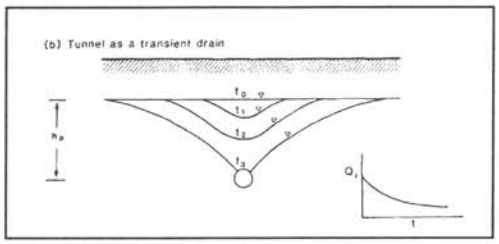


Fig. 4 Case 2.2.2. (Model E) *Case 2.2.2. (Model F)*

systematic drainage umbrella embracing the tunnel (Fig. 6), or even though the construction of small side pilot rainage galleries.

In the case of grouting in limestone, the primary goal is to reduce permeability. Modern practice is to drill a 360° array of grouting holes forwarded sub horizontally, then last out and seal a section of tunnel inside this completed grout curtain. This also largely deals with the hazard of catastrophic inrush, i.e. a flooded cavity



$$Q = \frac{k(h^2 - D^2)}{R}$$

where

$$R = 1.50\sqrt{\frac{(k)\,t}{S}}$$

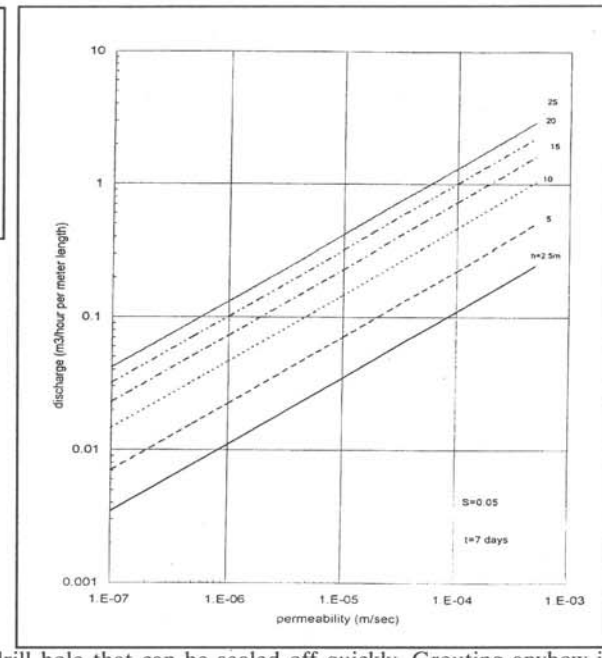


Fig. 5 Estimation of transient discharge

should be first encountered by a narrow bore drill hole that can be sealed off quickly. Grouting anyhow is difficult in large openings or under high pressure of water.

Dewatering can have undesired side effects on adjacent properties, the tunnel itself and the environment, such as (see also Powers, 1985):

- ground settlement due to consolidation of compressible soils filling big karstic cavities up to the surface as an effect of increased effective stresses from water table lowering. Fortunately, such ground settlement cannot take place when limestones cover the ground as the rock is not compressible
- development of sinkholes
- depletion of adjacent groundwater and/or surface water supplies
- salt water intrusion
- expansion of contamination plumes

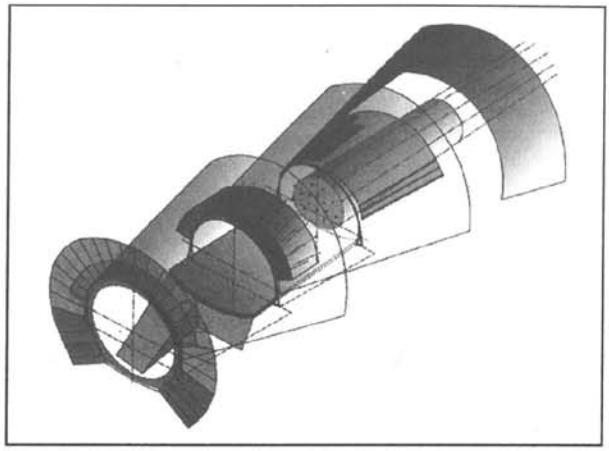


Figure 6: Driving a tunnel through an important water bearing zone with predrainage through embracing drainage umbrellas (sketch from "Geodata", Torino, personal communication).

- release of contaminated water into the environment

6. GEOTECHNICAL ISSUES WHEN TUNNELLING IN LIMESTONE ROCK MASS

The rock mass itself

With the exception of the problem associated with the karstic characteristics, limestone and all other carbonate rocks in general, exhibit a good geotechnical behavior and a friendly tunnelling response. They exhibit reasonably good resistance to drilling or boring with reduced wear of excavation tools. The strength of a limestone rockmass can never reach low levels such as those of a squeezing ground, even when brecciated. Limestone breccias always exhibit good frictional values; however, support is sometime necessary with light steel sets or lattice girders, beyond rock bolts and shotcrete.

From another point of view, when the rock is at great depths or under high horizontal stresses, it cannot generate typical bursting instability, as is the case of hard rocks, since it is not a brittle material*. Any mild spalling problems in tunnels can be satisfactorily coped with rock bolting and reinforced shotcrete.

Figure 7: Typical appearance of a small karstic void partially filled with clay and silt; Dodoni tunnel, northwestern Greece, 2000.

The case of voids and karstic caverns

The meeting of caverns and big karstic conduits may be associated with the following problems, often very difficult to overcome:

- bridging the void, if empty
- tunnelling through a geotechnically weak fill material
- confronting water inrush associated with mud flow if the void is water bearing and filled partially or totally with earth materials (as discussed earlier).

In the case of urban tunnels with a thin cover, the occurrence of these voids can effectively be investigated with a drilling program assisted by geophysical testing. In most shallow depths the georadar can give reliable information. In deeper levels cross-hole tomography could be the best choice. In tunnels close to the surface an associated risk is the collapse of an adjacent cavern after an earthquake; filling these voids prior to the comple-

* In terms of mechanical properties typical bursting situation can usually be met in hard, strong and brittle rock, e.g. having an unconfined compressive strength higher than 100 MPa and a modulus of deformation greater than 4 GPa.

tion of the tunnel is an additional task to be undertaken. In the case of deep tunnel through a mountain and given there are clear indications that such cavities are present, the only reliable method is probing ahead, as was previously mentioned.

The Dodoni tunnel in northern Greece, with a length of 3.3 km and 12 m in diameter, is currently (fall – winter 2000) being driven in a limestone sequence with well developed bedding and possible local intercalations of siltstones or cherts a few cm or dm of thickness. The limestone encountered so far has behaved well and this behavior is expected to continue. However, significant overbreaks have occurred at some locations and these overbreaks were due to instability of the fill in karstic cavities (Fig. 7). Karstic solution features may indeed be observed in outcrops on the surface of the mountain ridge crossed by the tunnel under a cover of at least 100 m. These features indicate that karstic processes were active inside the limestone ridge.

Two major collapses occurred related to the presence of sinkholes at the surface with outcropping chimneys almost 100 m of height. The voids were filled with clayey material and pieces of broken rock and were prominently wet. The main collapse had a diameter of approximately 1.5 m in the tunnel and 3 m on the surface (Fig. 8), leading to 1200 m^3 of material falling into the tunnel.

In order to detect karstic cavities, pockets filled with soft and broken material, shear zones and gouge-filled faults, it was recommended that routine probe drilling ahead of the tunnel face should be carried out (Hoek and Marinos, 2000, experts' unpublished report to "Egnatia Highway S.A."). Typically, such probe holes are percussion drilled using the normal jumbo. Ideally, the probe hole should always be kept one tunnel diameter ahead of the advancing face and the most convenient way to achieve this is by drilling long holes (30 to 50 m) during maintenance shifts or at weekends. As in all karstic voids, because of the irregular and unpredictable shape and location of weak zones, it is recommended that at least three probe holes should be drilled from the face at 10, 12 and 2 o'clock positions. These holes are believed to have the highest probability of detecting the most dangerous zones. During drilling, a supervising geologist or engineer should be present and, together with the driller, should watch for rapid changes in drill penetration rates, nature of the chippings and color of the return drilling water. An experienced driller will usually be able to detect changes in the drill performance and to give a reliable prediction of the nature of the ground ahead of the face.

Figure 8: Collapse of the filling of a karstic chimney crossed by Dodoni Tunnel. The collapse outcropped on the surface about 100 m. over the tunnel.

When a significant weak zone is detected additional probe holes should be drilled to define the extent and shape of the zone as accurately as possible. In exceptional cases, one or two cored holes may be required to determine the nature of the filling material.

As a general rule grouting of the filling material within the cavity is a primary consideration in order to improve its cohesive strength. However, it has to be realized that the effects of such grouting are highly unpredictable, depending on the nature of the filling materials.

The support measures to be used depend upon the nature and the extent of the weak zone. When a weak zone (e.g. a karstic cavity or a filled pocket of limited extent) is to be dealt with, the use of forepoles to bridge the cavity should be considered. These forepoles play an entirely different role from those used to pre-support the face in squeezing ground. Their function is to form a roof over the tunnel through which the weak filling material of the cavity cannot pass. Hence, depending on the volume of material to be supported, the forepoles should be reasonably light (say 75 mm diameter tubes) and they should be as closely spaced as possible. They should also be long enough to ensure that they are securely socketted in good limestone on either side of the cavity. The number of forepoles to be installed should be limited to the number required to form an effective barrier under the cavity. It is not necessary to implement a complete support system, with an extensive forepole umbrella and additional support measures, such as that used in squeezing ground.

When the probe drilling detects a continuous feature of significant size, the approach has to be quite different from that described above. In such a case, the rock mass on either side of the cavity will be most probably weaker than the surrounding limestone and the zone may be 10 m thick or more, depending on the orientation of the void. In such a case, it is prudent to implement the full forepoling solution, similar to that used in squeez-

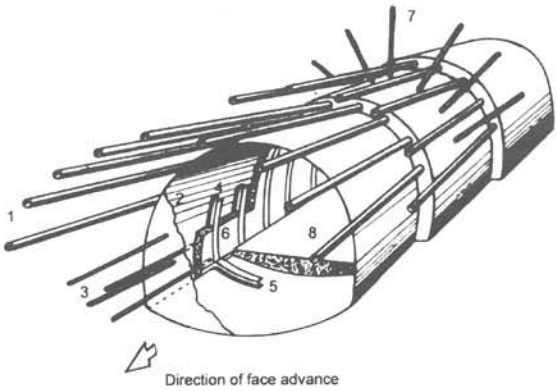


Figure 9: Full-face excavation through weak ground under the protection of a forepole umbrella. The final concrete lining is not included in this figure (Hoek, 2000). The method can be applied in cases of large karstic caverns or large chimneys filled with cohesive soil under substantial load. Note that it is not always necessary to implement all the components shown in this figure.

1. Forepoles – typically 75 or 114 mm diameter pipes, 12 m long installed every 8 m to create a 4 m overlap between successive forepole umbrellas.
2. Shotcrete – applied immediately behind the face and to the face, in cases where face stability is a problem. Typically, this initial coat is 25 to 50 mm thick.
3. Grouted fiberglass dowels – Installed to reinforce the rock immediately ahead of the face. These dowels are usually 6 to 12 m long and are spaced on a 1 m x 1 m grid.
4. Steel sets – Installed as close to the face as possible and designed to support the forepole umbrella and the stresses acting on the tunnel.
5. Invert struts – Installed to control floor heave and to provide a footing for the steel sets.
6. Shotcrete – Typically steel fiber reinforced shotcrete applied as soon as possible to embed the steel sets to improve their lateral stability and also to create a structural lining.
7. Rockbolts as required. In very poor quality ground it may be necessary to use self-drilling rockbolts in which a disposable bit is used and is grouted into place with the bolt.
8. Invert lining – Either shotcrete or concrete can be used, depending upon the end use of the tunnel

ing ground (Fig. 9).

One further possibility needs to be considered and that is the case of a large empty karstic void. Such a void will generally require bridging and backfilling. The nature of the backfill will depend on the location of the void relative to perimeter of the tunnel. If water is associated with the void, drainage holes have to be foreseen as described earlier (see also Fig. 6)

Encountering a vertical karst channel, which is the most common case in the transfer zone of the aquifer (model C in Table 1), unpredictable concentrated water pressure may load the tunnel lining. In order to prevent possible damage, forced drainage of the channel towards lower elevations has to be secured.

When tunnel boring machines (TBM) are to be used, local realignment of the tunnel axis in order to avoid voids is not an option and usually a stoppage is imposed in order to backfill or bridge the void. If backfilling of the karstic cavern should be carried out from within the tunnel care should be given not to obstruct the cutter head with the concrete operations (Milanovic, 1996 and Marinos 2001). When naturally filled, the voids have to be crossed by conventional tunnelling since the TBM, being usually of an open type, cannot bore the fill that could ravel through the cutter head of the machine.

7.CONCLUSIONS

Tunnelling in karst terrain requires a thorough hydrogeological knowledge over a broader area. Lack of this knowledge may result to a design, which will not be able to face problems, or hazards that may occur during construction with probably dramatic consequences on the completion of the operation. Judgment and engineered solutions should always assist any decision at all stages during design and construction.

ACKNOWLEDGMENTS

Particular acknowledgments are due to Harry Saroglou for his assistance in editing this paper.

REFERENCES

ANONYMOUS, 1992, solving water problems: World Tunnelling, April issue, p. 154-160

BAUER, G., 1994, How to control groundwater in tunnelling projects: Tunnels and Tunnelling, June issue, p. 55-57

BREZNIK, M., 1998, *Storage Reservoirs and Deep Wells in Karst Regions*.(Balkema publ.), 251 p.

FORD, D.C., and WILLIAM, P.W., 1992, Karst Geomorphology and Hydrology: Chapman & Hall, p. 534-536

HOEK, E., 2000, Big Tunnels in Bad Rock: 2000 Terzaghi Lecture, Seattle, October 2000. To be published in the ASCE journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering

MARINOS, P.G. 2001, Tunnelling and mining in karstic terrane; an engineering challenge, Keynote Lecture. Proceedings 8th Conference "Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology", B. Beck and G. Herring edit., Balkema Pub., p. 3-16.

MILANOVIÆ, P., 2000, *Geological Engineering in karst*. (Zebra Publ.) Belgrade, 347p.

POWERS, J.P., 1985, Dewatering; avoiding its unwanted side effects: Technical Committee on groundwater control of the underground technology research council of the ASCE Technical Council on Research, American Society of Civil Engineers, New York, NY

WHITE, W.B., 1999, Karst Hydrology: Recent developments and open questions: Proceedings 7th Conference, "Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst, B. Beck et al edit., Balkema publ. p. 3-20.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1765-1771, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1765-1771, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

DANGEROUS SEISMOTECTONIC SITUATION FOR ANCIENT AND MEDIAEVAL MONUMENTS IN SOFIA CITY (BULGARIA)

M. MATOVA[1]

ABSTRACT

Sofia city with its ancient and mediaeval monuments is situated in the Sofia graben. The neotectonic evolution of the graben and its surrounding horsts is considerable. The block fragmentation and the realized horizontal and vertical block movements in the Sofia graben and the adjacent horsts are investigated geologically. The number of the seismic events in the graben and the horsts is significant. The epicenters of the earthquakes are concentrated along the main faults of the Sofia graben, the Vitosha and the Negushevo fault zones and the Chepintsi fault. The seismic and the structural characteristics show the considerable activity of the Sofia graben and the surrounding horsts. These seismotectonic conditions are dangerous for the ancient and mediaeval monuments in the city.

KEY WORDS: Sofia graben, block fragmentation, seismic movements, monuments, seismotectonic danger.

1. INTRODUCTION

Sofia city (1 128 859 inhabitants according the data of the end of 1987) has a long-term evolution. The city is attractive with its position on the crossings of important highways, with the mineral water springs, fertile lands, healthy climate and the mountain's surrounding. The old traces of the Thracians, the Hellenes, the Romans, the Huns, the Bizantines, the Slavs, the Bulgarians and the Ottomans could be found in the territory of the city. The periods of its prosperity and destruction are in often replacements.

The traces of the ancient city castle with impressive and wide walls, public and private buildings, the churches "St. George" and "St. Sofia" mark its prosperity respectively during the 4th and the 6th centuries A.D. The mediaeval monuments, like the Boyana church (14th century), the Kremikovtsi (15th century) and the Seslavtsi (17 century) monasteries mark next stages of development

2. SEISMOTECTONIC NOTES

Sofia city is placed in the middle part of the Sofia graben and partially on the peripheries of the surrounding horsts. The graben is of intensive Neogene-Quaternary development. The graben is limited by two longitudinal faults, the Negushevo (NW-SE) and the Vitosha (NW-SE) fault zones (Fig. 1). The faults with NW-SE, NE-SW, submeridional and subequatorial directions control the graben fragmentation which is remarkable.

The numerous blocks of various sizes participate in the vertical and horizontal movements. The vertical displacements are relatively more considerable than the horizontal ones.

The vertical displacements mark the maximal values in the blocks of the contacts of the Sofia graben and the surrounding horsts. The contrast block movements are relatively the most considerable in the blocks of the contact between the graben's middle part and the southern adjacent Vitosha horst.

The thermal mineral water springs are concentrated generally in the southern boundary of the graben - mainly along the Vitosha fault zone. Some other springs are localized along the inner graben fault - the Chepintsi one (NE-SW). The block displacements and the spatial distribution of the mineral water sources (Fig. 1) are among the indications for the recent fault activity in the investigated territory of the Sofia graben.

The local seismic manifestations in Sofia graben are of various characteristics. All of them are of shallow hypocenters.

1. Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Laboratory of Seismotectonics, Str. Acad. G.Bonchev Block 24, Sofia 1113, Bulgaria; e-mail: matova@geology.bas.bg

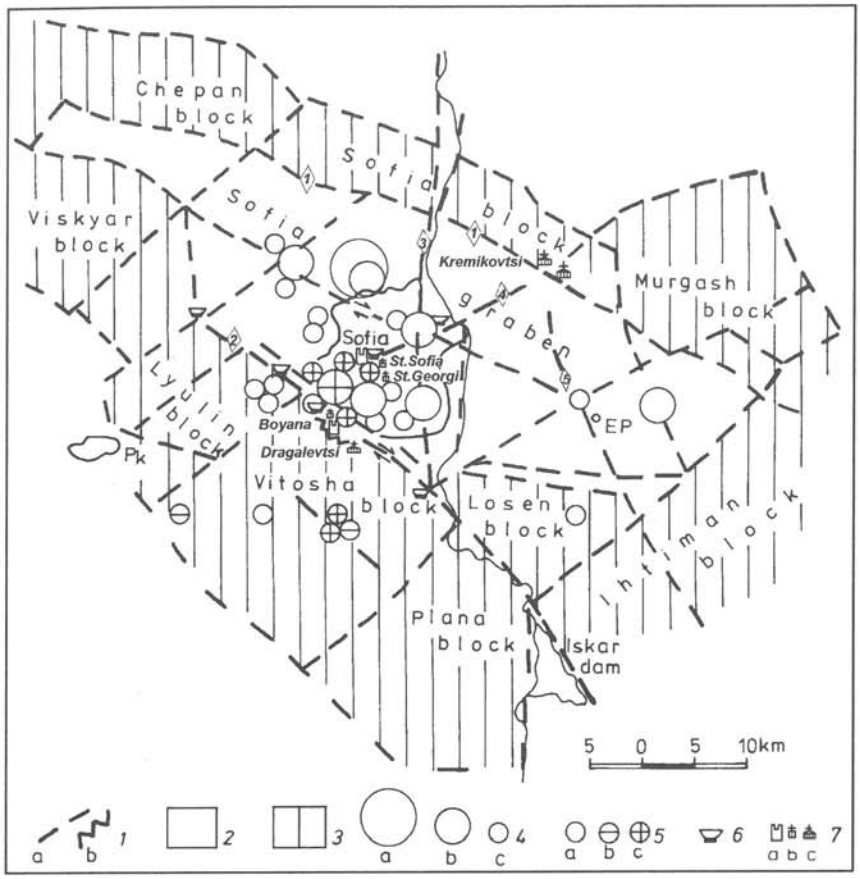


Fig. 1. Strong and moderate earthquakes in the block segmented Sofia graben and surrounding horsts, where ancient and mediaeval monuments are situated.

1 - faults: a - of the block boundaries (1 - Negushevo fault zone, 2 - Vitosha fault zone, 3 - Iskar fault, 4 - Chepintsi fault, 5 - Elin Pelin fault), b - seismically deformed sector of the Vitosha fault during the 1858 Sofia earthquake; 2 - block of the Sofia graben, 3 - block of the surrounding horsts, 4 - epicenters of earthquakes with magnitude M: a - M=6.1-7.0, b - M=5.1-6.0, c - M=4.1-5.0; 5 - depths of their hypocenters: a - up to 10 km, b - 11-20 km, c - 21-30 km; 6 - thermal mineral spring; 7 - several ancient and mediaeval monuments of Sofia city: a - castle, b - church, c - monastery. Abbreviation of town names: EP - Elin Pelin, Pk - Pernik.

The last investigations and the revision of the seismological information indicate the presence of strong earthquake in 19th century. It is a 1858 Sofia earthquake (M=6.5-7.0) (Solakov et al., 2001). The earthquake epicenter is situated in the center of the investigated graben. The depth of the hypocenter is no more than 10 km.

The local moderate shallow earthquakes are registered or noted in the Sofia graben and its surrounding horsts. A great part of their epicenters are localized in the crossing of the Vitosha and the Chepintsi faults (Fig. 1). The great part of the seismic events are related to hypocenters which depth is also no more than 10 km.

The above mentioned strong and moderate earthquakes which hypocenters are in the very shallow layers of the crust permits to suppose the presence of considerable seismic effects in Sofia city, including in the ancient and mediaeval monuments (Fig. 1).

Considerable number of local weak earthquakes are registered in the Sofia graben. The distribution of their epicenters proposes an additional and significant information for the recent mobility of the graben and for its seismotectonic potential in the destruction processes (Fig. 2).

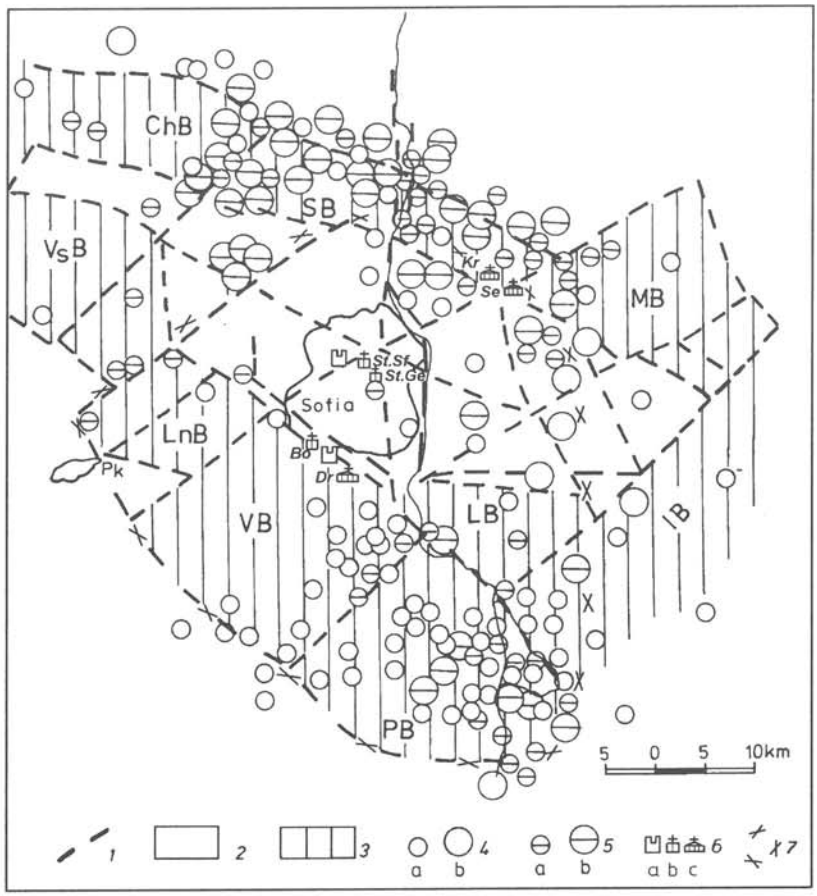


Fig. 2. Weak earthquakes during 1966-1979 (summary of seismic data in the publications of the Geophysical Institute after Matova, 1998) in the block segmented Sofia graben and surrounding horsts.
1-fault of the block boundaries, 2 - block of the Sofia graben, 3 - block of the surrounding horsts, 4 - epicenters of earthquakes (1966-1976) with magnitude M: a - M <1.5, b - M ³1.5; 5 - epicenters of earthquakes (1976-1979): a - only recorded, b - felt by the population; 6 - several ancient and mediaeval monuments of Sofia city: a - castle, b - church, c - monastery, 7 - Sofia city hinterland. Abbreviations: ChB - Chepan block, SB - Sofia block, MB- Murgash block, IB -Ihtiman block, Lb - Lozen block, VB - Vitosha block, PB - Plana block, LnB - Lyulin block, VsB- Viskyar block, Kr - Kremikovtsi monastery, SE - Seslavtsi monastery; St.Sf - St. Sofia church, St.Ge - St. Georgue church; Bo - Boyana church, Dr - Dragalevtsi monastery; Pk - Pernik, EP - Elin Pelin.

The influence of the regional strong earthquakes is also of great importance for the studied territory. The strong shallow earthquakes, like the 1904 Krupnik one (M=7.8), provoke seismic effects of Io=VII in Sofia city, including building destruction and liquefaction. The numerous, long-term manifested and periodically repeated strong Vrancea intermediate earthquakes provoke also small destruction effects in certain localities of the city.

The summary impact of the above cited local and regional seismic events could be of great importance for the stability of the city buildings. The summary seismic influence over the historical monuments was very continuos.

The seismotectonic situation in the Sofia graben and the surrounding horsts creates serious problems for the city. The problems are related mainly to the protection of the old city and its monuments as well as to the development of the new city.

3. SEVERAL ANCIENT AND MEDIAEVAL MONUMENTS IN SOFIA CITY

Numerous traces of the Thracian, Hellenic, Roman, Byzantine, Bulgarian and Ottoman periods could be observed in the center and the peripheries of the city. The town was attractive for the population of the Balkan

Peninsula and for the participants in the Great migration of the peoples.

Several important ancient (1st - 8th centuries) and mediaeval cultural monuments (9th -17th A.D.) are the subject of the study. They are placed in different quarters of Sofia city. They mark the long evolution of the city during the millenniums.

Constructions of the Roman period (1st -4th centuries A.D.) could be observed in the center of the city and its southern periphery. They are represented mainly by the partially saved city castle, some public and private buildings. The traces of the castle, of the buildings and inner streets are marked in the center of the city. Very bad saved traces of outer walls of the city castle and of the water-supply system are established in the southern periphery of the city - the Boyana quarter.

The ancient churches "St. Sofia" and "St. George" are among the relicts of the Byzantine period. The churches are situated in the center of the city. The first of them , "St. Sofia" church, was so remarkable, that the name of the city is related to it during Middle Age.

The biggest part of the mediaeval monuments are represented by churches and monasteries. The Boyana church (11th-13th centuries A.D.), also the Dragalevtsi (14th century), the Kremikovtsi (15th century) and the Seslavtsi (17th century) monasteries are among the most representative monuments (Fig. 1). Their building and painting represent an expression of the economic possibilities and the cultural needs of the population in the city and its surrounding.

The Boyana church (Fig. 3) was constructed during three stages - the 11th , the 13th and the 19th centuries, but only the first two of them are of historical value. The second stage of the Boyana church was the most important for the cultural history of the country and the world. The Boyana church is included in the UNESCO List of the World Cultural Heritage.

The painting of the Boyana church during the 13th century is remarkable. The murals of the church include 89 scenes with 240 human faces.

The portraits of the local Sevastokrator Kaloyan and his wife Desislava are of exceptional value for the Bulgarian art history. They represent indications for the development of the Bulgarian Renaissance. The other portraits of the Bulgarian Tsar Constantin Asen and his wife Irina, also of the military saints are also among the significant ones. The presence of wall painting compositions with several elements of the Bulgarian life is one of the very impressive church characteristics.

The painting of the churches in the Dragalevtsi, the Kremikovtsi and the Seslavtsi monasteries is of importance for the next stages of the Bulgarian history. The murals of the cited churches propose information for the economic and cultural life of the people in the country. The decoration of the churches is realized according the Orthodox laws, but a great number of the details give expression of the Bulgarian existence during the different periods of the Ottoman domination.

The murals of the Seslavtsi monastery church and some other churches in the region of Sofia city are attributed to the well-known Bulgarian painter Pimen Zographski and its famous painting school.

Seismotectonic information based on cultural monument's periods of construction and deconstruction

All of the mediaeval churches were built and reconstructed several times. The definition of the periods of reconstruction includes very important indirect information for the previous periods of their destruction. The destruction of the monasteries embraces data for the natural and the human impact during their long history. The human impact is of various types. One of them is of technogenic type. The last one includes the wars, the revolutions, the various peacetime industrial and transport activities etc. It is of significance in the Sofia region. The technogenically induced seismic events are not the subject of the proposed investigation.

The earthquakes are among the most significant natural impacts in the recent active territory of Sofia city. The seismically provoked deformation and destruction of the monuments are interesting for the seismotectonic interpretations. The established seismic effects permit to receive information for:

- the intensity of the earthquake in sites of monuments,
- the seismically active faults,
- the local co-seismic phenomena.

4. SEISMOTECTONIC DEFORMATIONS OF THE HISTORICAL MONUMENTS

The seismotectonic conditions are complicated in the Sofia graben and the surrounding horsts. The recent activity of the inner graben blocks creates some dangerous conditions for the city. The seismic influence in the central part of the Sofia city and graben is of relatively limited intensity. Its maximal values are up to VII-VIII degree.

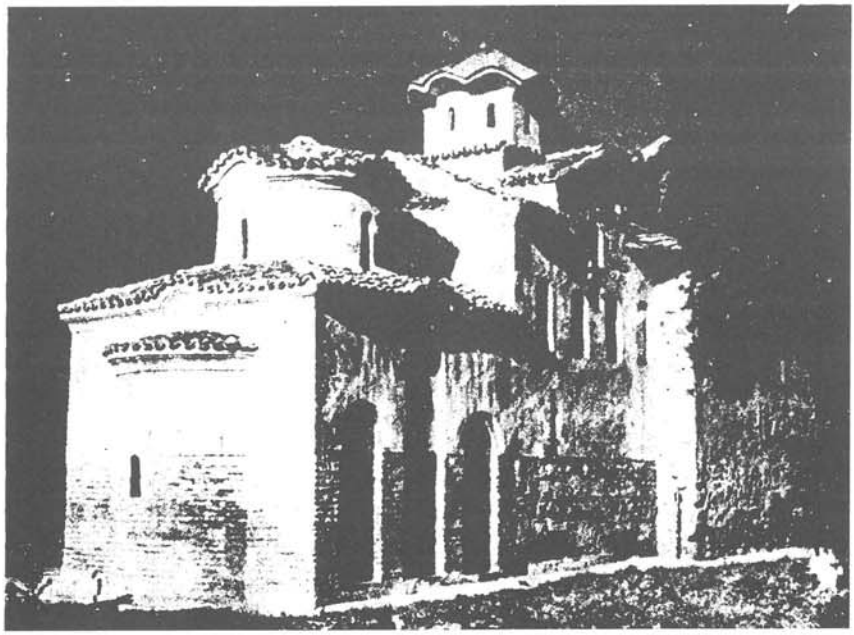


Fig. 3. The Boyana church (11th - 13th century A.D.)

The quality of the monument constructions is of significance for seismic effects. There are constructions that do not permit considerable deformation. The inner city castle, constructed mainly in the 4th and the 6 centuries, has exceptionally stable and large walls. The basements of this ancient castle are saved up our days. The seismic effects are not considerable.

Some other monuments represent higher constructions without so stable walls. The ancient church "St.Sofia" was transformed into mosque during the Ottoman domination. The mosque construction was partially destroyed during the moderate and strong 1553-1558 Sofia earthquakes. Its minaret was cut and fallen. The cited seismic effects of VII-VIII degree had have positive consequences for the Bulgarian population: the mosque was transformed again into church after the earthquakes.

The seismic effects in the Sofia graben boundaries are more significant, up to VIII-IX degree. The Boyana outer walls of the ancient city castle, also of the Boyana ancient water-supply system, the Boyana mediaeval church and the Dragalevtsi monastery are placed in the southern boundary of the Sofia graben. The Boyana outer walls and the water-supply system are considerably deformed. They are only partially marked now. The often deformations are the cause of numerous reconstructions of the Boyana church. The reconstruction works in the Dragalevtsi monastery are also numerous. The documented reconstruction works in the Dragalevtsi monastery are during the 15th, 16th and 19th centuries. They are related to Sofia earthquakes. The Boyana and the Dragalevtsi quarters are placed on a sector of the Vitosha fault zone where the tectonic processes (including the seismic one) and the slope movements are very intensive. They are in the southern boundary of the Sofia graben near its contact with the Vitosha horst. The seismic effects are up to VIII or VIII-IX degrees.

The northern boundary of the graben is of relatively limited, no considerable recent activity. The Negushevo fault zone, the Chepintsi and the Elin Pelin faults are represented in the locality of the investigated monuments. The Seslavtsi and the Kremikovtsi monasteries are in the northern graben boundary. The reconstruction works in the Kremikovtsi (16th and 19th c.) and the Seslavtsi (19th c.) monasteries could be related also to the Sofia earthquake effects. Perhaps the maximal seismic effects reach up to VII or VIII degrees.

The moderate Sofia earthquakes of 1450, 1553-8, 1818 and the strong one of 1858 caused certain deformation of the region of Sofia city. Its influence into the city historical monuments is considerable. The Balkan catalog of the earthquakes (Shebalin et al., 1974) includes data for monument's destruction in the region of Sofia city. It was noted that twelve Sofia churches were destroyed in different degrees during the mentioned 1553-8 Sofia earthquakes.

The earthquakes provoke relatively large distribution of the seismic effects of VII and of VII-VIII degrees along the sectors of the Negushevo, of VII, VIII and IX degrees along the Vitosha and the Chepintsi faults. The

seismic influence was relatively more representative in the surrounding of the crossings of the seismic active faults. The three mediaeval monasteries and the Boyana church are located near the crossing-points of active faults.

The slope processes at the foot of the high Vitosha mountain provoke the increase of the deformation effects. The seismogenic and aseismogenic landslides and rock falls are very well represented in the locality of Boyana quarter. They are of moderate distribution in the Kremikovtsi and Seslavtsi quaters of the city. The liquefaction and the land subsidence manifestations are of limited significance in the investigated region.

The above mentioned data show that the seismotectonic danger is considerable in the Sofia graben and its surrounding horsts. The seismic effects increase along the Vitosha and Negushevo faults and in their crossing points with the Chepintsi fault. The southern half of Sofia city is in close vicinity with the crossing of the Vitosha and the Chepintsi faults. The Boyana castle walls, the Boyana ancient water-supply system, the Boyana churches, the Dragalevtsi monastery, are in the surrounding of the mentioned crossing of the southern graben boundary. The inner Sofia castle, the churches "St.George" and "St. Sofia" are in the middle part of the block fragmented Sofia graben, but not far away from the mentioned fault crossing. The Kremikovtsi and the Seslavtsi monasteries are placed in the northern graben boundary closely the crossing of the Negushevo, Chepintsi and Elin Pelin faults. The position of the monuments is not favorable for their protection.

The synthesis of the research permit to go to the following information:

- The local weak, moderate and strong seismic events (Fig. 1,2) and the regional strong ones ($M^3 7$) prepare or create the deformation of different degrees (up to Io=IX) in the investigated natural and man-made structures.

- The seismic activity of the faults, generally of the Vitosha and the Chepintsi ones, is of a great significance for the locality. The activity of the Negushevo faults is of moderate importance.
- The co-seismic phenomena are also developed. There are relatively limited data for seismically-induced landslides, rockfalls, liquefaction, land subsidence and other geological phenomena.

5. CONCLUSION

The ancient and mediaeval monuments of Sofia city are numerous. Only a part of them is a subject of seismotectonic investigation.

The above mentioned ancient and mediaeval monuments of Sofia city are situated closely to recent active faults. They are also at the peripheries of the numerous blocks of the Sofia graben and the surrounding horsts.

The territory of the Sofia graben and the surrounding horsts is mobile one. The most significant recent movements are related to the contacts of the Sofia graben with the surrounding horsts, generally in the southern and northern graben boundaries. The mobility increases in the crossing-points of the active faults.

The epicenters of a considerable number of moderate and weak earthquakes, as well as the epicenter of the strong Sofia earthquake (M = 6.7-7.0) are distributed along the active faults, also along the block and the Sofia graben boundaries. The strong and the biggest part of the moderate Sofia earthquakes have the hypocenters at depth no more than 10 km. The seismic effects of the cited very shallow earthquakes are very dangerous for the earth surface and the monuments.

The co-seimic phenomena in the sites of the monuments are relatively well represented in the southern graben boundary, followed by the same in the northern one. The manifestations of these phenomena are more limited in the central part of the Sofia graben.

The tectonic situation of the monuments, the seismicity and the co-seismic phenomena in the sites of monuments are of significance to the explain the destruction of different degrees in the investigated monuments. The seismotectonic research helps the next works for the protection of the ancient and the mediaeval monuments.

The considerably seismically deformed Boyana outer city castle walls, Boyana water-supply system, Boyana church and Dragalevtsi monastery are situated in the southern part of Sofia graben, where is the crossing of the Vitosha and the Chepintsi active faults.

The Kremikovtsi and the Seslavtsi monasteries are placed in the northern graben boundary and in close vicinity with the fault crossing of the Negushevo, the Chepintsi and the Elin Pelin faults. The values of the seismic effects in this graben boundary are smaller than the same of the southern boundary.

The ancient monuments of the city center, the walls of the inner castle, the churches "St. Sofia" and "St. George" are in relatively less dangerous seismotectonic conditions. The seismic influence is of moderate values in the central territory of the block fragmented Sofia graben.

The impact of the long-term manifested seismicity to the Sofia graben and the historic monuments is also of

significance. The considerable quantity of seismic events provokes the numerous reconstruction periods of the investigated monuments.

Now the protection of the monuments which are deformed in different degree represents a very responsible obligation of the people and governments. The country respects his cultural heritage and tries to organize their reconstruction and conservation.

REFERENCES

BOTEV, E., RIZHIKOVA, S. 1982. Sofia seismic zone and weak earthquakes in 1977-1979. *Bulgarian Geophysical Journal, Sofia*, VIII, 3, 98-106 (In Bulgarian, English abstract).

BUNE V.I., VUCHEV, V.T., GITIS, V.G., MIRONOV, M.A.1982. Application of the interval expert evaluation approximation method to compilation of M max maps of Bulgarian earthquakes. *Geologica Balcanica, Sofia*, 12, 2, 49-70 (In Russian, English abstract).

GOCEV, P., MATOVA, M. 1977. The Present Active Fault Mosaic in Bulgaria and the Seismic Activity. *Geotectonics, Tectonophysics and Geodynamics, Sofia*, 6, 32-47 (in Bulgarian, English abstract).

MATOVA, M. 1998. Seismic Active Blocks in the Region of Sofia city and its surrounding. *Proceedings of the Third Working Group Meeting of the International Project "Expert Assessment of Land Subsidence Related to Hydrogeological and Engineering Geological Conditions in the Regions of Sofia, Skopje and Tirana", Sofia*, p. 10-16.

MATOVA, M. 1997. Seismic Active Faults in the Region of the Town of Sofia. *Proceedings of Second WG Meeting, UNESCO-BAS Int. Project on Land Subsidence, Skopje*, p. 45-50.

PRASHKOV, L., BAKALOVA, E., BOYADJIEV, ST. 1992. *Monasteries in Bulgaria*, 287 pp. (Publ. House "Spektar", Sofia).

SHEBALIN, N., KARNIK, V., HADZIEVSKI, D. 1974. *Catalogue of earthquakes in Balkan region.* Parts I, III, 366 pp. (UNESCO, Skopje).

SOLAKOV, D., CHRISTOSKOV, I., SIMEONOVA, S. 2001. Possible Consequences from Strong Earthquakes in the Territory of Bulgaria. *Minno Delo and Geologia Journal, Sofia*, 1, 52-57 (In Bulgarian, English abstract).

SOLAKOV, D., SIMEONOVA, S. 1993. *Bulgaria. Catalogue of earthquakes 1981-1990, Sofia*, 39 pp. (BAS, Sofia).

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1773-1779, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1773-1779, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

AN ENGINEERING GEOLOGICAL CONSIDERATION OF THE FLASH FLOOD HAZARD: A SYSTEMIC APPROACH FOR STRUCTURING A SUSTAINABLE STRATEGY.

S.G. SKIAS[1]

ABSTRACT

In this paper, firstly an attempt is made to define/shape the flash flood concept and the associated risk, to appreciate the structure and properties of the engaged to it fluvial system and the flash flood potentially generating geoenvironment. Secondly, an engineering geological consideration of risk identification and minimisation approaches, the human actions increasing vulnerability and the main mechanisms resulting to instability phenomena manifested within the steep upstream part of the fluvial system during the flash flooding process are presented. Finally, the active role which engineering geology-geologists must play in implementing sustainable measures for coping with the flash flood hazard in the 21st century is argued.

KEY WORDS: flash floods, engineering geology, sustainability, natural hazards, systemic approach, fluvial system, erosion, slope stability, mitigation

1. INTRODUCTION: SHAPING THE "FLASH FLOOD" PHYSICAL CONCEPT

Flash floods are widely considered as very fast developing catastrophic floods resulting by short, intense rainfalls on steep topography. The high-energy and mass transfer-potential of the flood-wave can be, through accelerated erosion mechanisms, the *cause* or *trigger* for occurrence of other natural hazards as, mainly, the various types of shallow landslides.

Nevertheless, there is no general agreement about the content/meaning of the term "flash flood". Often, is discussed in the context of arid and semi-arid environments. However, although criticized by Penning-Rowsell et al. (1978) for its imprecision, is even more widely used to signify sudden-onset flooding in a broad range of climatological and geographical conditions.

The suddenness and unexpectedness implied by the term "flash flood" may manifest different causes (found in relevant literature) as: intense storm rainfall, rapid snow melting, failure of dams or other control works. Either, may indicate a storm has occurred on steep, bare, impermeable surfaces such as a narrow mountain or a heavily built-up urban area or in a small catchment where the resulting flood peak passes too rapidly for adequate flood warnings to be given.

From the majority of reported cases, it is revealed that flash floods are normal, natural events caused by rather short duration but very intense rainfalls (as severe storms) mostly on small watersheds (or upper-land portion of a large drainage basin) in steep topography with specific flora and geologic settings. As all floods, they happen when the stream channel's discharge exceeds the bankfull stage. But, the associated to flash floods steep topography (mountainous or hilly), is responsible for the existing great difference between the mean values of their geometric and hydraulic properties and the respective ones of the downstream, inundation floods. Since, the latter are associated, commonly, with large-scale weather events and large-area watersheds in low lands. Consequently, the two mentioned types of catastrophic floods greatly differ, both quantitatively and qualitatively, as far as their impacts are concerned. Often, torrential flash floods cause damage, which may be out of all proportion to the peak discharges actually experienced.

2. FLASH FLOODING RISK APPRECIATION

Flash flooding and in general flooding risk results from two independent components: *hazard* and *vulnerability* (Molin, Valdes H., 1994). *Hazard* is a consequence-result of natural processes, under certain conditions (in time and space) within the course of the hydrological cycle. *Vulnerability* is directly related to human presence and works that could be (as probability) negatively affected (loss, damage) by the hazard. It is the location and

1. Engineering Geology Lab., Civil Engineering Dept., Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi, Greece, E-mail: skias@civil.duth.gr

type of human presence and activities that are critical to vulnerability. Given all the previously presented, it is easily appreciated that flash flood, a natural, extreme and periodically occurring, morphogenetic (earth-shaping) event, can be characterised as hazard (or geo-hazard) since it adversely affects humans and their property.

United Nations declared the period 1990-2000 as the International Decade for Natural Disaster Prevention. It is unfortunate that during this last decade the magnitude and frequency of flash floods have increased as the associated vulnerability (live loss and property damage). Let only mention the flash flood in Afghanistan (June 1991) with more than 5000 victims. Losses from flash floods and associated to them hazards (mainly landslides) world-wide are increasing because of human activities and geophysical factors resulting in climate change and increased variability. Rainfall intensity is the driving force behind flash floods regardless of average annual heights (Flower, A.M. and Hennessy, K.J., 1995). Numerous European and international research projects, e.g. HYDROMET (1998), TELFLOOD (1998) and conferences (e.g. Int. Conf. On Mountain Natural Hazards, Grenoble, April 1999) resulted in a presentation of valuable multidisciplinary experiences and new ideas for coping with flash floods. The common denominator of all experts is that the best flash flooding hazard's management lies to an integrated approach and community (co-operation of all societal groups) actions (Brilly, M., 2001).

3. A SYSTEMIC APPROACH IN ASSESSING FLASH FLOODING HOSTING GEOENVIRONMENT: THE FLUVIAL SYSTEM

As all natural hazards, flash floods can be optimally understood, assessed and their impacts mitigated, if they are perceived as outputs of particular dynamic processes within geoenvironmental systems, the fluvial systems. A thorough engineering geological consideration of the characteristic properties, the controlling factors, the existing thresholds and the interactions among the elements/components of a particular- case fluvial system represents the key issues of a sound systems analysis and assessment. The appreciation of a certain fluvial system's evolution through time (in terms of process, form and magnitude) as a respond to man's actions is of fundamental importance to start creating the framework of rational action-directions for shaping case-appropriate alternative flash flood risk coping measures.

3.1. The fluvial system from an engineering geological viewpoint

Like all earth systems, fluvial (riverine) systems are very complex and are characterised by a number of basic principles – properties (Chorley, R. J., and Kennedy, B. A., 1971) such as:

a. The system has limits. The limits of the fluvial system are the drainage contour of its basin and the mouth of the river.
b. The elements of the system interact. For instance, a change in the tributary network will have an impact on the properties of the main channel, and vice versa.
c. The fluvial system is controlled by previous natural or human induced actions, (resulting in short or long-term response) such as mass movements, dam and road construction and changes in surface soil's infiltration.
d. A single element usually dominates the system. This is usually the climate, which (through precipitation and temperature) determines the amount and the distribution of water (surface and ground water) within the system.
e. The system evolves through time geomorphically, as it adjust its physical character to the influence of internal and external parameters.
f. There exist a continuous energy and matter (water and geo-materials) flow through the system. Through raindrop impact on natural slopes, to the exertion of velocity-induced shear stresses on streambanks.
g. Thresholds influence the dynamics of the system. Thresholds such as critical discharge level, channel-slope dips, values of engineering properties of engaged geologic materials and formations, etc.

Subsystems exist within an overall fluvial system and may be considered as of critical importance and separate members of the system, thus governed by the same principles as the above mentioned ones (a to g). The principal subsystems of an overall fluvial system are:

(1) the main channel and its flood plain,
(2) the tributary network and
(3) mountain or hill slopes.

As far as flash flooding is concerned, the 2nd (especially the upland streams) and 3rd subsystems deserve special consideration and investigation of their properties and evolution. Since, the flow and transferred mass

characteristics and lag time to peak flow of the flood directly depend on the properties and the interaction mechanisms among the elements of these subsystems.

In analyzing the stream and slope subsystems, there exist some salient concepts deserving appropriate consideration (Rahn, P. H., 1991). Namely:

Equifinality, referring to the development of similar geomorphic features (such as alluvial fans) from different processes, which on lack of engineering geological expertise would appear to have a similar origin and formation history.

Feed-back. This reaction occurs, generally, in river systems. An example is the growth of large alluvial fans in a stream valley at the confluence of a tributary. These large earth bodies deflect the channel of the main stream, and since the main stream cannot transport the sediment, brought to it by the tributary, positive feedback occurs and the channel of the main stream is changed.

Equilibrium states. These are of great importance in appreciating the evolution of the fluvial system and can be seen in various time scales.

4. RISK IDENTIFICATION AND MINIMIZATION: THE MAIN ISSUES OF ENGINEERING GEOLOGICAL CONSIDERATION

By principle, the discipline of Engineering Geology (E.G.) plays a predominant role in identifying geohazards and minimizing their risk. To this respect, its main task is the selective application of existing knowledge/principles from the whole range of Geoscienses in exposing and ranking the risk prone areas/sites and the engaged causative and triggering factors of their manifestation or potential occurrence. In performing this role:

1. Investigates, in a systemic way, the existing properties of the geo-materials/formations (rocks, soils, water) and geo-structures constituting a particular geo-environment of interest (in our case the fluvial system) and the qualitative and quantitative relationships among them
2. Investigates the interactions between the geo-environment (natural system) and the actions-works of man (technical system) within a relevant human time-scale, and
3. Delineates hazard affected or prone areas and proposes mitigation (preventive or/and remedial) measures, using weighted criteria and specific index values.

Within the context of the so-called geological hazards, flash floods occupy a predominant position since they negatively affect both the natural and the man-made environment in increasing, through time, intensity (as figures show).

It should be always remembered that earth systems are dynamic and very complex ones and exhibit great anisotropy due to the unhomogeneity of the involved geologic materials. Thus, each particular system considered in an appropriate for the given objective scale, represents a rather unique case as far its structure and behavior are concerned. Although, two cases at first observance, might appear similar (see above Equifinality principle).

If we take as fact the common case that flash flooding generates on steep mountainous or hilly topography, E.G. is focusing its interest to the investigation of the upstream section of the whole drainage basin or fluvial system. There, the two existing main subsystems: the stream network and the engaged slopes, disserve thorough engineering geological consideration. The main issues of consideration are presented hereafter.

4.1 Origin and evolution of the upstream drainage network and the associated slope system

In performing the relevant in situ investigation, geomorhological techniques and indicators are used in order to reveal the sequence of past events responsible for the present morphological characteristics of streams and slopes. Besides, the past geotectonic or other geophysical activity in a regional scale is considered, since this activity has been always interacting with the geomorphologic processes shaping the topographical surface of reference. At this point we should stress the extreme value of any existing reliable historic records, which the investigator must look upon with caution during the desk study phase of the site investigation. This is sometimes called "historical monitoring" of the region.

4.2 Instability phenomena in the slope system

Engineering geologists can use various observational and analytical techniques in different scales, in order to locate the presence and evaluate the possible interactions of instability phenomena being in an active, dormant, or inactive state. The investigation approach is tracing the prevailing causative and triggering mechanisms of instability or landsliding phenomena which cover the whole range of slides, falls, topples, lateral spreads,

flows and the complex ones. In many cases the situation is very complex and requires expertise knowledge. The occurring complexity is mainly due to the engineering, structural and topographical properties of the hosting rock or soil formations. Some geologic extremely anisotropic formations like flysch (typically, a sequence of interceded soft shales and hard sandstones) present extreme difficulty in appreciating and predicting their mechanical behavior. In the case of flash flooding shallow landslides and especially mud and debris flows are the most commonly observed phenomena occurring in the surface soil formations of bare or deforested natural slopes, exhibiting low water infiltration and quick runoff building. These phenomena can be easily triggered by the same rainstorms causing flash flooding, and are mainly due to sudden decrease of shear strength within the soil mass, after passing a certain threshold of pore-pressures value.

Earth flows and flash floods can directly or not interact in various ways, many times in a very complicated way as far as the sequence of events and the involved acting mechanisms. For instance the landsliding material can change the route (direction, shape) or the flow parameters of the flooding water.

Shallow landslides due to sheet flow action in soil slopes (runoff) and the undercutting action of flooding wave are usual manifestations of flash flooding events. Gradually the great velocity and high-energy potential of flooding waters are diminishing as they proceed the lowland area. Thus, the downstream portion of the greater drainage basin, where the main river system flows may be little affected (i.e. rare occurrence of landsliding phenomena triggered by the flooding water's erosion mechanisms).

In general, mobilized earth material after following various routes (mainly ordered by gravity) is distributed in various places by depositional mechanisms, thus introducing a varying in magnitude morphological change. The reshaping of the natural relief morphology though is a continuous natural process called morhogenesis is accelerated and manifested impressively during landsliding events related or not to flash floods. These morphological changes create new stress levels within the soil profiles of the slopes of the affected up-stream area. Thus, certain slopes can exhibit safety factors approaching to unity. Careful planed and executed engineering geological investigation which must be performed within due time after judged as major morhogenetical events (resulting from seismic, landsliding, flooding, etc, activities), can delineate new landsliding-prone slopes within the upstream region facing high flash flooding risk. Of great assistance in selecting the due time and the characteristics of an in situ engineering geological investigation concerning landsliding activity, can be the relevant data from periodic airphotographs, satellite imagery, or other remote sensing means of the region at risk. The ranking process of slopes at risk and the presentation of the investigation results, in general, can be greatly facilitated (time, quality) by the use of the continuously advancing geographic information systems (GIS).

4.3 Interactions between water and geologic material

Through the hydrologic cycle are well known the varying interactions among meteoric, surface and ground water. Water in all forms constantly interacts with the geologic material altering in various rates the strength and geometric characteristics of soil and rock formations drooping (precipitation), moving on surface or percolating through the soil pores and rock discontinuities. Apart from the landsliding phenomena investigation, E.G., given the flash flooding risk of an are, investigates the interrelations among geologic material, water and vegetation and their combined influence on the properties of sediment discharge, floodwater discharge and lag time to peak flow.

Of great assistance in appreciating and predicting flash flood impacts is the E.G. investigation of erosion and depositional/sedimentation phenomena on channel banks and within the beds, which are influencing the evolution of the whole fluvial system.

4.4 Human actions or omissions increasing flash flooding damage in the up and downstream regions

In many cases careful in situ engineering geological investigations reveal human actions which directly or indirectly represent causative factors in landsliding phenomena triggered by meteoric events which at the same time and region trigger flash flooding phenomena (Smith, K., and Ward R., 1998).

Actions-activities: In fact, human actions can facilitate the destructive role of natural factors (topography, geology, and precipitation) which control both landsliding occurrence and flash flooding damage in the upstream region. Some of the principal and common human actions that contribute to the above mentioned natural hazards are cut-and-fill operations, unreasonable use of explosives, disposal of geomaterials engaged in road and building construction, deforestation, urbanization of natural slopes, uncontrolled disposal of solid wastes and predatory exploitation of natural resources. The above mentioned human activities can significantly alter natural processes and accelerate and aggravate the impact of the extreme natural phenomena (here landslides, flash floods), by changing natural drainage paths, assisting the action of gravity, reducing soil infiltration and

increasing pore-water pressures.

Omissions: Apart from the destructive influence of human actions there exist certain human omissions related to proper maintenance of engineering structures engaged in flow control within the drainage system. For example, small flow-control dams constructed in series across the channels of upstream drainage system are progressively trapping large amounts of sediments up to their carrying capacity, above which sediments and other solid obstacles can travel and deposited uncontrolled down stream. This situation can be the source of various destabilizing processes (e.g. erosion), leading to landsliding phenomena and to increase of environmental (e.g. loss of agricultural land) and human damage (life and property) during flash flooding events. In general, periodic channel clearing and dredging (from all naturally and artificially occurring obstacles changing the spatial distribution, geometry and capacity of drainage system) represent a preventive measure of landsliding and flash flooding mitigation system among other preventive soft-engineering measures.

The case of Xanthi-Greece: Human actions and omissions described just above were responsible, to a great extend (Institute for Geological and Mining Research, Athens 2000, unpublished study), for two human victims and severe environmental, infrastructure and property damages, up and downstream, caused by a flash flooding event in Thrace, Northern Greece. In fact, rainfall started on 26th November 1996 and reached extreme intensity on 30-11-1996 triggered a catastrophic flash-flooding event originated in the upstream mountainous part of river's Kossynthos drainage basin in Xanthi Prefecture. Many mountainous villages, a great part of the old city of Xanthi and many villages and public infrastructure in the downstream plain area were seriously affected by the flooding waters and transported sediments, rocks, municipal wastes and other materials. During this extreme for the mentioned region flash-flooding event, the total daily amount of rainfall outreached (30th Nov.) the value of 200mm and the hourly intensity (between 11th to 13th hours of this day) exceeded 30mm. These rainfall and flood events are considered as events of the century for this region.

As it is apparent from what has been presented in previous paragraphs, a thorough investigation, analysis and appreciation of the interactions within the geoenvironmental system of reference by an experienced Engineering geologist can guide him in selecting and spatially and temporally allocating preventive and mitigating measures across the drainage and slope systems of the upstream part of a drainage basin. A periodic, efficient engineering geological site inspection (through the use of certain natural indicators and monitoring devices) of the area can safeguard the proper maintenance of existing or implementation of possibly needed additional actions/measures.

5. ENGINEERING GEOLOGY VS. SUSTAINABLE MEASURES FOR COPING WITH FLASH FLOODS

Flash floods, as most natural phenomena, need a systemic approach for effectively appreciating their dynamic properties, the involved in each case interactions among the engaged external/internal factors, and a rational assessment of their potential impacts. In planning a set of (structural or not) measures for coping with flash floods in a particular case, there are some key-points which, being appreciated, can well lead both to optimal, under the existing constraints, selection and realization of the mixture of measures. An overview of those key-points related to the *system* and *sustainability* concepts as well as to the role of engineering geology are presented in the following.

5.1. Existing groups of measures

At the end of 20th century, the existing measures for coping with flash floods (as well as with other directly or indirectly related natural hazards as landslides, erosion, etc) can be grouped in four sets (Yevjevich, V., 1994):

a. Do-nothing (means: learning to live with the hazard)
b. Non-structural (divided in measures related to: regulation for proofing, defence and insurance)
c. Structural (extensive -in space- and intensive -in point, line-)
d. A combination of structural and non-structural measures

It is easily understood that a and b sets are measures in the direction of *controlling people* and set c represents the alternative, that is *controlling water*

5.2. Influence of the Sustainability concept on the choice of selection-criteria

The concept of Sustainability (Rio, Earth Summit 1992) has created a new framework in coping with complicated socio-environmental problems as these associated with floods and other natural hazards. In general, the idea is that the measures taken should have a long-run effectiveness in meeting, both, true social needs and

preserving the natural capital (soil, flora, and fauna). That implies that Sustainability greatly favours measures for *controlling people*.

In relation to the above mentioned four groups of measures, four comments may summarise the trend:

I. Sustainability oriented approach dictates a massive (though rational) use of non-structural measures in an integral strategy for mitigating negative impacts (decrease of loss of natural capital, human lives and property)

II. Among structural measures sustainability favours the use of extensive ones since they are of vital importance in an efficient soil conservation practice, sound management of land-use and protection of natural environment.

III. Intensive structural measures (as levees, dikes, dams, and water storage) are considered that, in many cases and especially when expose large dimensions create severe environmental problems in a long time span due to cumulative effects of their impacts on the natural system within which they are intervening. Also, in case of malfunction or failure (as it has happened several times) they may cause much more destruction (or even a disaster) than the natural phenomenon when it might occur. It is well known that it has been a long lasting debate/controversy on the impacts of structural measures in controlling water. Now there is a general agreement that the future for any particular case lies with participatory decision-making using a costs-benefits-and-risks approach that will raise the importance of the social and environmental dimensions of the case to a level once reserved for the economic dimension. This approach is gradually shaped and enforced in the different levels of institutional decision-making by the gradually emerging sustainability-oriented legislation.

IV. It is easily appreciated that preventive actions are by all means and far better fulfilling the sustainability criteria than do mitigation ones.

5.3. The role of Engineering geology in the selection process

The final selection/choice of needed measures must be the task and the result of a cost-benefit analysis and multicriteria evaluation (nowadays within a sustainability framework) from a team of experts covering (as much as possible in width and depth) the various multidisciplinary aspects of the particular hazard's problems.

It is easily proved that in achieving the case-optimal flash flood coping measures for any particular catchment, the basic prerequisite is a systemic consideration of the status and dynamic nature of the upstream geologic environment and the engineering properties of the involved geologic materials. Besides, it is necessary to appreciate the existing and varying in space and time sequence of interactions among the different geologic processes. The geometric and physical properties of geologic materials and the interaction of surface and ground water with them mainly control these processes. It is obvious that the nature and magnitude of the geomorphic changes (mass movements, erosion) created by a particular flash flood event express the result of the interaction between the acting meteorological agents (precipitation, temperature, winds) and the geologic environment (considered as a system of different but interrelated parts). These changes are mainly originated and greatly manifested in the upstream region, thus this part (subsystem) of the whole drainage system necessitates special engineering geological investigation in a way, which has been already explained.

It is apparent from the above that Engineering Geologists, after understanding and presenting to the rest of the selection team of experts (e.g Hydraulic Engineers) the functioning of the whole geoenvironmental system can provide the criteria of geologic origin to be used in the selection process. In establishing these criteria apart from relevant and adequate data expert judgement is badly needed. The quality of judgement is obviously proportional to the experience and expertise of the engaged Engineering Geologist. Existing Engineering geology's methodologies, as the use of indicators and special type indices (Skias, S., 1998) using appropriate mathematical and software tools, can facilitate the evaluation, ranking and temporal/spatial allocation the flash flooding potential within a given drainage system's area. Thus, they can assist in achieving, within the sustainability framework, the optimal mixture of structural and non-structural preventive and mitigating measures. Also, through a rational process of assigning weights to a set of socio-economic criteria can assist establishing the order of social importance/priority of the measures to be taken. It should be stressed that the measures taken must be always tailored to the particular properties of the geoenvironment and the related socio-economic system of reference. It has also to be appreciated that no recipes from a "cook book" are available.

In any case, the degree of effectiveness of implemented measures (structural or not) for a particular catchment will be directly proportional to the appreciation of the interactions between the natural system (geoenvironment of the catchment) and the technical system (existing and implemented human actions).

A rationally designed and carefully performed engineering geological monitoring programme prior, during, and after the construction stage, will safeguard, to a great extent, that the project (selected measures) will

perform as planned. This monitoring programme must be an integral part of an Environmental Impact Assessment concerning the particular for implementation project (set of engineering measures).

The concepts of socially and environmentally *accepted risk* and the *carrying capacity* of the concerned natural environment's components should be established through proper social dialog and (combined as a pair) must form the corner stone criterion in the final choice among alternative engineering measures and the associated political decision.

Besides, for appreciating the crucial role of Engineering Geology in an effective design and construction of flood related structural projects, it is worth mentioning that extreme flash floods triggered by Dam failures, with severe impacts on human life and property, have had as primary cause the underestimation or misjudgement of the existing geologic regime. Either regarding the foundation rocks (Malpasset dam, France 1959) or the stability of the adjacent natural slopes (Vaiont dam, Italy 1963).

5.4 The societal duty of engineering geologists in the 21st century

Nowadays, in the down of the 21st century, there is a growing societal demand to reduce the vulnerability of the unavoidable natural hazards. The best respond to this demand is first to perform an integrated risk analysis and then use sustainability criteria (safeguarding environmental protection and preservation) in selecting the appropriate preventive-mitigation measures from a cost-benefit analysis. Due to their direct and close relationship with geo-environment's behaviour, engineering geologists well appreciate that is greatly beneficial (for the *real* benefit of society) to back and encourage this responding approach. In this respect, we strongly believe that engineering geologists should actively participate in local or other forums where land-use and project-selection decisions are made concerning flooding susceptible lands and provide proper arguments and guidance for the planners and administrators, as well as for those involved in the technical-engineering aspects. If an agency or authority moves for approving a project without taking into consideration the existing geologic controls and sustainability constraints in a flood-prone area, the engineering geologists of the region should alert the public to the associated potential risks. This might be called: "the citizen scientist's duty to care".

REFERENCES

BRILLY, M., 2001, The integrated approach to flash flood, *in* Eve Gruntfest and John Handmer, eds, coping with flash floods, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 103-113

CHORLEY, R. J., AND KENNEDY, B. A., 1971, Physical geography, A systems approach: London, Methuen, 605 p.

FLOWER, A.M. AND HENNESSY, K.J., 1995, Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation, *in* natural hazards 11, pp. 283-303

HYDROMET: EU project, 1998, Development of technologies to forecast, prevent and reduce natural risk, *in* Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 111 p.

MOLIN, VALDES H., 1994, The international decade for natural disaster reduction and the link with Agenda 21, *in* Ecodecision, pp. 42-45

PENNING-ROWSELL, E. C., et al., 1978, The Effect of Warning on Flood Damage Reduction, Report for the Central Water Planning Unit, Flood Hazard Research Centre, Middlesex Polytechnic, London.

RAHN, P. H., 1991, Surface water and flooding, *in* Kiersch, G. A., ed., The heritage of engineering geology; The first hundred years: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Centennial Special Volume 3

SMITH, K., AND WARD R., 1998, Floods, Physical Processes and Human Impacts: West Sussex, J. Wiley, 382 p.

SKIAS, S., 1998, Evaluation of the geomechanic behaviour and instability phenomena of the flysch formations of W.Greece (in Greek), Ph.D. dissert., Dem. Univ. of Thrace, Xanthi-Greece, pp. 15.3-15.28

TELFLOOD: EU project, 1998, Forecasting floods in urban areas downstream of steep catchments, *in* Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 109 p.

YEVJEVICH, V., 1994, Classification and description of flood mitigation measures, *in* G. Rossi, N. Harmancioglu and V. Yevjevich, eds, Coping with Floods, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 573-584.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ
HYDROGEOLOGY

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1783-1791, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1783-1791, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΑΛΙΩΝ, ΜΟΧΟΥ, ΠΟΤΑΜΙΩΝ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΑ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ*

ΑΠ. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ[1]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται ανάλυση της γεωλογικής δομής της περιοχής μεταξύ των χωριών Μαλίων - Μοχού - Ποταμιών και Λιμένα Χερσονήσου, συμπεριλαμβανομένης της στρωματογραφίας της και της τεκτονικής της, ενώ διερευνώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής ώστε να καταστεί δυνατή η ορθολογική αξιοποίηση των υπογείων νερών της.

Δίδονται λεπτομερή λιθολογικά, στρωματογραφικά και τεκτονικά στοιχεία για τα δυο τεκτονικά καλύμματα που απαντούν στην περιοχή μελέτης (κάλυμμα Φυλλιτών - Χαλαζιτών και κάλυμμα Τρίπολης) καθώς και πληροφορίες για τα μεταλπικά ιζήματα και καθορίζονται οι περιοχές που συγκεντρώνουν τις καλύτερες προϋποθέσεις για την ανεύρεση καλής ποιότητας υπογείων υδάτων, προκειμένου να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες των δεδροστοιχειών που θα αναπτυχθούν κατά μήκος του νέου οδικού άξονα από την Χερσόνησο μέχρι τα Μάλια, χωρίς να διαταραχθεί το υπόγειο δυναμικό άλλων γειτονικών περιοχών που ήδη υφίστανται υπερεκμετάλλευση.

ABSTRACT

This paper present in details the geology, stratigraphy and tectonics of the area between Malia, Mohos-Potamia and Limin Hersonissou in Crete. Also deals with an analysis of the hydrogeological conditions and its crucial contribution to decision-making and sound exploitation of ground water.

Detailed lithological, stratigraphic and tectonic data are given for both the tectonic nappes (Phyllites-quartzites and Tripolis) within the study area, together with information concerning the post-alpine outcrops. The locations that meet the conditions for the accumulation and storage of good quality underground water are also specified. Large quantities of water will be needed for the irrigation of the trees that will be planted along the new road that connects Hersonissos with Malia, and this additional need for water should not disturb the already overexploited hydrologic potential of the adjacent areas.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κρήτη, Μοχός, Μάλια, Κάλυμμα Φυλλιτών - Χαλαζιτών, Κάλυμμα Τρίπολης, Γεωλογία, Στρωματογραφία, Τεκτονική, Υδρογεωλογία

KEY WORDS: Crete, Mochos, Malia, Nappe of Phyllite-Quartzite, Nappe of Tripolis, Geology, Stratigraphy, Tectonics, Hydrogeology.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι η Κρήτη συγκροτείται από ένα σύνολο λεπιοειδώς διατεταγμένων τεκτονικών καλυμμάτων που περιλαμβάνουν μια μεγάλη ποικιλία αλπικών σχηματισμών. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν δημιουργηθεί σε διαφορετικά παλαιογεωγραφικά περιβάλλοντα και κάθε κάλυμμα έχει τη δική του παραμορφωτική και μεταμορφική ιστορία (Bonneau 1973, Seidel 1978, Φυτρολάκης 1980, Φασούλας 1995 κ.α.). Η δομή του νησιού συμπληρώνεται με μεταλπικά ιζήματα, μεταξύ των οποίων κυρίαρχη θέση κατέχουν τα νεογενή(Εικ.1).

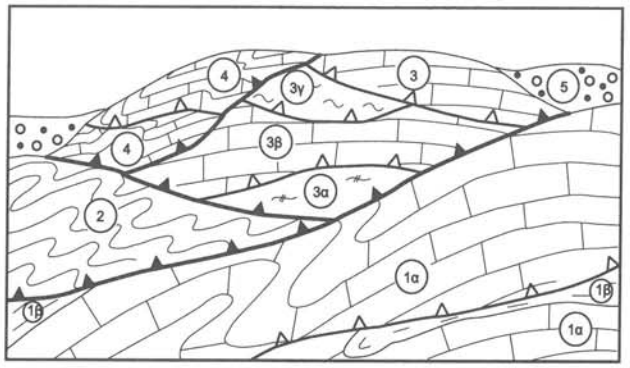
Η παρουσία σε κάθε ανεξάρτητο κάλυμμα υδροπερατών και αδιαπέρατων σχηματισμών, ο τεκτονισμός που έχει επηρεάσει τους σχηματισμούς αυτούς (πτυχώσεις, εφιππεύσεις, ρήγματα) και η τεκτονική σχέση των διαφόρων καλυμμάτων μεταξύ τους ελέγχουν και καθορίζουν, κατά κύριο λόγο, τις υδρογεωλογικές συνθήκες που διαμορφώνονται στις διάφορες περιοχές της Κρήτης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μεταξύ

* ON THE GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS BETWEEN MALIA, MOHOS, POTAMIA AND LIMIN HERSONISSOU, CRETE.

1. Γεωλογό Τμήμα Παν/μίου Αθηνών. Πανεπιστημιούπολη 157 84 Ζωγράφου.

των χωριών Μοχός - Ποταμιές - Χερσονήσου και Μαλίων Κρήτης, εστιάζοντας κυρίως στη τεκτονική δομή της περιοχής και στο πώς αυτή καθορίζει τις υδρογεωλογικές συνθήκες. Έναυσμα της μελέτης της συγκεκριμένης περιοχής ήταν η αναζήτηση υπόγειων υδατικών πόρων για την άρδευση των δενδροστοιχιών που πρόκειται να αναπτυχθούν κατά μήκος του νέου οδικού άξονα Ηρακλείου-Αγ.Νικολάου, στο τμήμα του από Χερσόνησο μέχρι Μάλια.



Εικ. 1: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής μελέτης. (Με έντονα γράμματα σημειώνονται οι σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή ενδιαφέροντος.) 1. Ενότητα Κρή-της Μάνης. 1α. Κρυσταλλικοί ασβεστό-λιθοι με ή χωρίς πυριτόλιθους. 1β. Στρώματα μετάβασης σε μεταφλύσχη. 2. Κάλυμμα Φυλλιτών-Χαλαζιτών. 3. Κάλυμμα Τρίπολης. 3α. Στρώματα Ραβδούχων. 3β. Ανθρακική ακολουθία Τρίπολης. 3γ. Φλύ-σχης. 4. Κάλυμμα Πίνδου. 5. Νεογενές.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της ευρύτερης περιοχής μελέτης, από κάτω προς τα επάνω, περιλαμβάνει: α) δυο από τα τεκτονικά καλύμματα που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της Κρήτης. Αυτά είναι: i) το κάλυμμα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών και ii) το υπερκείμενο κάλυμμα της Τρίπολης. β) ιζήματα του Νεογενούς, ανω-μειοκαινικής ηλικίας και γ) αποθέσεις του Τεταρτογενούς (εικ.2).

2.1. Το κάλυμμα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών

Το κάλυμμα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών καταλαμβάνει σημαντική έκταση πολύ νότια του βόρειου οδικού άξονα Ηρακλείου - Αγ. Νικολάου. Αναπτύσσεται νοτιότερα του Μοχού, μέσα στην λεκάνη απορροής του Αποσελέμη Ποταμού, κατά μήκος της νοητής γραμμής Ξηροκαμάρες - Ποταμιά - Γωνιές.

Μια μικρότερη εμφάνιση των Φυλλιτών - Χαλαζιτών εντοπίστηκε νοτιοανατολικά της Χερσονήσου. Η εμφάνιση αυτή, όπως θα δούμε στη συνέχεια, έχει ιδιαίτερη υδρογεωλογική σημασία.

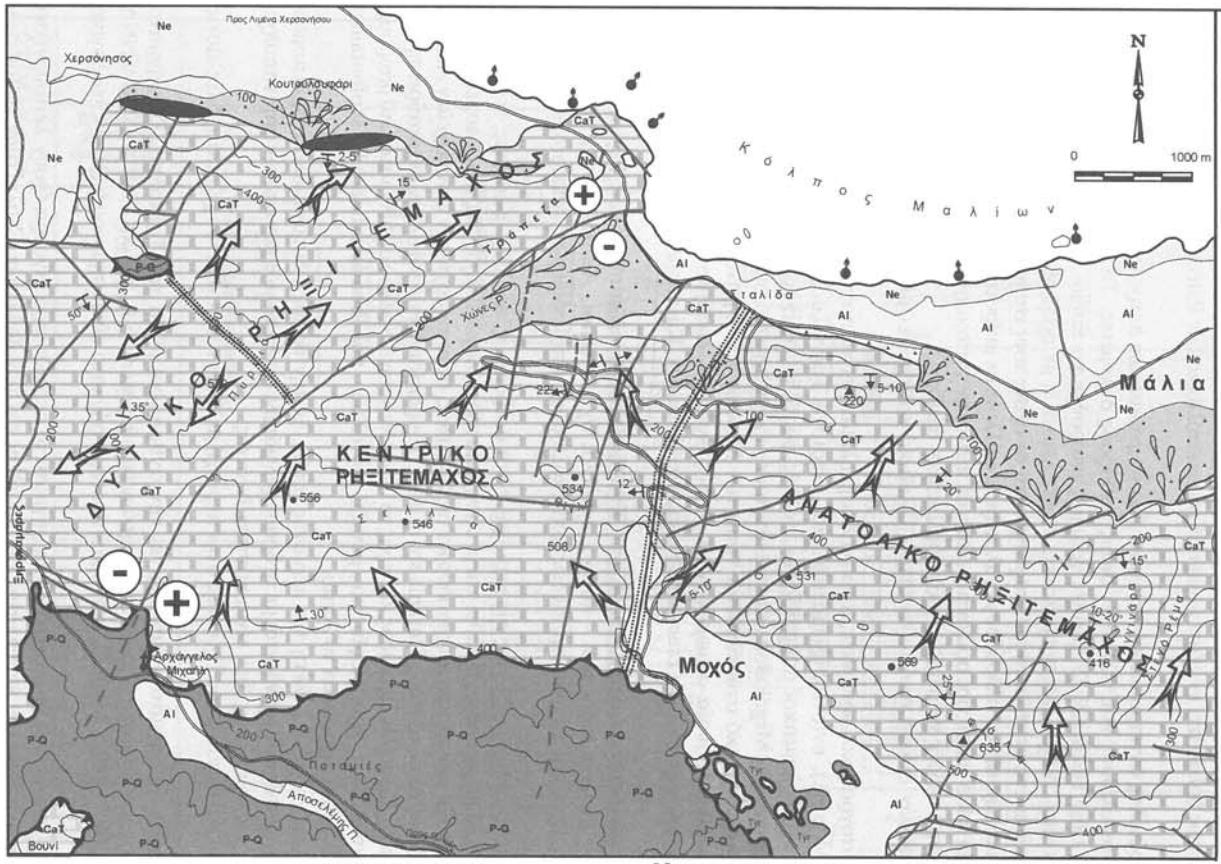
Στη λεκάνη απορροής του Αποσελέμη Ποταμού, το κάλυμμα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών αντιπροσωπεύεται από δυο διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς, έναν ανώτερο και ένα κατώτερο.

Ο ανώτερος σχηματισμός αποτελείται από σερικιτικούς κυρίως σχιστόλιθους, με μεταξώδη λάμψη, που εναλλάσσονται με άλλους, χλωριτικούς, και με λεπτά γκριζόχροα χαλαζιτικά στρωματίδια. Κατά θέσεις, εντυπωσιακή είναι η παρουσία συμπτυχωμένων λευκών χαλαζιακών φλεβιδίων και οριζόντων που τόσο μακροσκοπικά όσο και στο μικροσκόπιο θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν περισσότερο ως φυλλίτες παρά ως σχιστόλιθοι. Η παρουσία λεπτών χαλαζιτών στρωμάτων είναι πολύ περιορισμένη.

Ο κατώτερος σχηματισμός αποτελείται από μαύρους, κατά το μάλλον ή ήττον γραφιτικούς σχιστολίθους. Χαρακτηρίζεται και αυτός από την παρουσία συμπτυχωμένων χαλαζιακών στρωματιδίων που η συχνότητα εμφάνισής τους αλλάζει από θέση σε θέση. Πολύ σπάνια παρατηρούνται μικρά ατρακτοειδή ασβεστοπυριτικά σώματα.

Η μικρότερη εμφάνιση των Φυλλιτών - Χαλαζιτών που εντοπίστηκε νοτιοανατολικά της Χερσονήσου αντιπροσωπεύεται από μαρμαρυγιακούς - χλωριτικούς σχιστολίθους και χαρακτηρίζεται από την παρουσία συμπτυχωμένων λευκών χαλαζιακών στρωματιδίων.

Κύριο χαρακτηριστικό τεκτονικό γνώρισμα της ενότητας των Φυλλιτών - Χαλαζιτών είναι η έντονη παραμόρφωσή της, που εκδηλώνεται κυρίως με ισοκλινείς πτυχές. Διαπιστώθηκε ότι η ενότητα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών έχει συμμετάσχει σε δυο τουλάχιστον πτυχογόνες παραμορφωτικές φάσεις. Παρατηρείται ένας προτιμητέος προσανατολισμός των αξόνων των πτυχών παράλληλα προς τη διεύθυνση Α-Δ. Σε αρκετά σημεία



Εικ.2.: Γεωλογικός - υδρογεωλογικός Χάρτης

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Κορήματα και κώνοι κορημάτων: Αποτελούνται από γωνιώδη ανθρακικά τεμάχη, ποικίλων διαστάσεων, χαλαρής ή μέτριας σύνδεσης, ενίοτε με την παρουσία ερυθρογής. Πρόκειται για υδροπερατό σχηματισμό, μικρής δυναμικότητας.

Αλλουβιακές αποθέσεις: Αποτελούνται από αργιλοαμμώδεις - ιλυώδεις αποθέσεις, με την παρουσία, κατά θέσεις, αδρόκοκκων υλικών, ερυθρής άμμου και ερυθρογής. Στην κοίτη του Αποσελέμη αναπτύσσονται και ποταμοχειμάρριες αποθέσεις. Στις παρακτιες περιοχές παρατηρούνται πλειστοκαινικές - ολοκαινικές αποθέσεις από άμμους και θαλασσιες αναβαθμιδες. Πρόκειται για σχηματισμό με ποικίλη υδρογεωλογική συμπεριφορά. Κατά θέσεις αναπτύσσονται φρεάτιοι υδροφόροι ορίζοντες. Στην περιοχή των Μαλίων οι ορίζοντες αυτοί υπέστησαν υφαλμύρηση εξ αιτίας της εντατικής των εκμεταλλευσης.

Νεογενή: Αποτελούνται από θαλασσιες ή λιμναίες αποθέσεις και αντιπροσωπεύονται από α) βιοκλαστικούς, ,ψαμμώδεις, ενίοτε μαργαϊκούς ασβεστολίθους, β) κροκαλολατυποπαγείς ορίζοντες με κροκαλο-λατύπες ποικίλης προέλευσης μέσα σε μια αργιλομαργαϊκή θεμελιώδη μάζα και γ) κιτρινόχρωες, υποκιανες ή πράσινες μάργες με ψαμμίτες ή και κροκαλοπαγή. Μέσα στους βιοκλαστικούς, υφαλώδεις ασβεστολίθους αναπτύσσεται περιορισμένη υδροφορία που και αυτή έτυχε εντατικής εκμεταλλευσης.

Ανθρακικά της Τρίπολης: Ανωτριαδικής έως ανωκρητιδικής ηλικίας ανθρακικά πετρώματα. Κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες, ενώ σε διαφορες θέσεις απαντούν όλες οι μεταξύ τους διαβαθμίσεις (από α σβεστολιθικούς δολομίτες έως δολομιτικούς ασβεστολίθους). Οι κατωτεροι στρωματογραφικοί ορίζοντες είναι παχυστρωματωδεις ή αστρωτοι, ενίοτε στρωματολιθικοί, γκριζόλευκοι ή τεφροί. Οι ενδιάμεσοι (κυρίως οι ιουρασικοί) είναι μεσοστρωματωδεις, μικριτικοί, τεφροί ή τεφρομέλανες, ενίοτε λευκοί ή με ροδίζουσα χροιά. Οι ανώτεροι ορίζοντες εμφανίζονται κυρίως ως αστρωτοι ή παχυστρωματωδεις, τεφροί έως τεφρομέλανες με πλήθωρα ρουδιστών. Πρόκειται περί μακροπερατών πετρωμάτων με αξιόλογη υδροφορία. Προς τα βόρεια εκφορτίζονται στην θάλασσα και κατά περιοχές το υπόγειο νερό τους αναμιγνύεται με το θαλασσινό.

Στρώματα Ραβδούχων (ή στρώματα Τυρού): Αποτελούνται από πράσινους και βιολέ φυλλίτες με χαλαζιτικούς όγκους και φλεβίδια από μεταλλικά συστατικά. Είναι το στρωματογραφικό υπόγραφο των ανθρακικών της Τρίπολης. Πρόκειται για αδιαπέρατο σχηματισμό χωρίς ιδιαίτερη, για την περιοχή μελέτης, υδρογεωλογική σημασία.

Κάλυμμα Φυλλιτών - Χαλαζιτών: Αποτελείται από: α) σερικιτικούς κυρίως σχιστολίθους, με μεταξύδη λάμψη, που εναλλάσσονται με άλλους, χλωριτικούς, και με λεπτά γκριζόχρωα χαλαζιτικά στρωματίδια β) από μαύρους κατά το μάλλον ή ήττον γραφιτικούς σχιστολίθους. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία συμπτυχωμένων χαλαζιακών στρωματιδίων που η συχνότητα εμφανισής τους διαφέρει από θέση σε θέση. Πολύ σπάνια παρατηρούνται μικρά ατρακτοειδή ασβεστοπυριτικά σώματα. Πρόκειται περί αδιαπέρατων σχηματισμών και η γεωμετρία της επαφής των με τα υπερκείμενα ανθρακικά της Τρίπολης καθορίζουν τον τρόπο διακίνησης των υπογείων υδάτων των ανθρακικών αυτών.

Πιθανολογούμενος υπόγειος υδροκτίτης

Γραμμές ροής υπόγειου νερού

Ανυψωμένο τμήμα ρηξιτεμάχους

Πεσμένο τμήμα ρηξιτεμάχους

Κανονικό γεωλογικό όριο

Γεωλογικό όριο κατά προσέγγιση

Ρήγμα και πιθανή ή καλυμμένη προέκτασή του

Επιφάνεια επώθησης

Διεύθυνση και κλίση στρωμάτων

Παράκτιες ή υποθαλάσσιες πηγές

Περιοχές που πληρούν τις καλύτερες προϋποθέσεις για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων

παρατηρείται παλιμπτύχωση ήδη πτυχωμένων στρωμάτων. Γραμμώσεις, σχισμός σχιστότητα, ολισθήσεις, ρήγματα και διακλάσεις συμπληρώνουν τον τεκτονικό ιστό της ενότητας αυτής.

2.2. Το κάλυμμα της Τρίπολης

Το κάλυμμα της Τρίπολης καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή μελέτης και αντιπροσωπεύεται, κατά κύριο λόγο, από ανθρακικά πετρώματα, ανω-τριαδικής έως και ανωκρητιδικής ηλικίας. Στη βάση των ανθρακικών απαντά ένας ηφαιστειοϊζηματογενής σχηματισμός που είναι γνωστός ως 1Στρώματα Ραβδούχων, ή Στρώματα Τυρού1. Τα στρώματα αυτά εμφανίζονται σε μικρή απόσταση νοτιοανατολικά του Μοχού. Έχουν μικρή έκταση και μικρό πάχος (έξι περίπου μέτρα) και αποτελούνται από πράσινους και βιολέ φυλλίτες, με χαρακτηριστική για τα Στρώματα Τυρού παραγένεση από χαλαζία + καλιούχο μαρμαρυγία + αιματίτη + ζιρκόνιο + μαγνητίτη, μέσα στους οποίους παρατηρούνται όγκοι από χαλαζίτες και φλεβίδια από μεταλλικά συστατικά που συνοδεύονται από λευκό χαλαζία. Από πάνω τους παρατηρούνται λευκότεφροι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι έως δολομίτες, εν μέρει ταινιωτοί, στρωματολιθικοί, με Paleodasycladus mediterraneus PIA, λιασίου ηλικίας.

Τα ανθρακικά της Τρίπολης αντιπροσωπεύονται από όλο το φάσμα των πετρολογικών τύπων που ξεκινά από τους καθαρούς ασβεστολίθους και τελειώνει στους καθαρούς δολομίτες. Τα γενικά τους λιθοφασικά χαρακτηριστικά δίνονται στην εικόνα 3. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι ασβεστόλιθοι είναι μεσοστρωματώδεις, μικριτικοί, τεφροί ή τεφρομέλανες, ενίοτε λευκοί ή με ροδίζουσα χροιά. Οι δολομίτες ή καλύτερα η δολομιτίωση είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται σε όλους τους στρωματογραφικούς ορίζοντες, από το Τριαδικό μέχρι και το Κρητιδικό, άλλοτε σε μεγαλύτερη και άλλοτε σε μικρότερη έκταση, και παρουσιάζει μια ακανόνιστη ανάπτυξη τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη έννοια. Κατά θέσεις η δολομιτίωση είναι τόσο έντονη ώστε να δημιουργείται δολομιτική άμμος

Η ηλικία των ανθρακικών ξεκινά από το ανώτερο Τριαδικό και φτάνει μέχρι το ανώτερο Κρητιδικό (Αλεξόπουλος 1990).

Οι κατώτεροι στρωματογραφικοί ορίζοντες, ανωτριαδικής ηλικίας, είναι παχυ-στρωματώδεις ή άστρωτοι (περιοχή Αρχαγγέλου Μιχαήλ), ενίοτε στρωματολιθικοί (περιοχή Τράπεζας), γκριζόλευκοι, τεφροί, ή μελανότεφροι δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, πολλές φορές με σακχαρώδη υφή. Στους ορίζοντες αυτούς έχουν εντοπιστεί ευμεγέθη Megalodon και σε λεπτοτομές έχουν προσδιοριστεί Involoutines.

Το κατώτερο και μέσο Ιουρασικό αναπτύσσεται νότια των Μαλίων, κατά μήκος του Μεγάλου ρέματος. Ενδεικτικά αναφέρουμε την παρουσία στρωμάτων με Paleodasycladus mediterraneus PIA, Orbitopsella praecursor (GUMBEL), λιασίου ηλικίας και Praekurnubia sp., Pfenderina sp., Kurnubia palastiniensis HENSON, δογγερίου ηλικίας.

Στην περιοχή μελέτης και ιδιαίτερα μεταξύ του Μοχού - Σταλίδας και στα υψώματα Σέλλια, Βίγλα, Αγγινάρα και Κεφάλα, επικρατούν οι ανωιουρασικοί - κατω-κρητιδικοί σχηματισμοί. Αποτελούνται κυρίως από τεφρομέλανες μικριτικούς, μεσο και παχυστρωματώδεις ασβεστολίθους, με πολυάριθμα Cladocoropsis mirabilis FELIX στα ανωιουρασικά στρώματα.

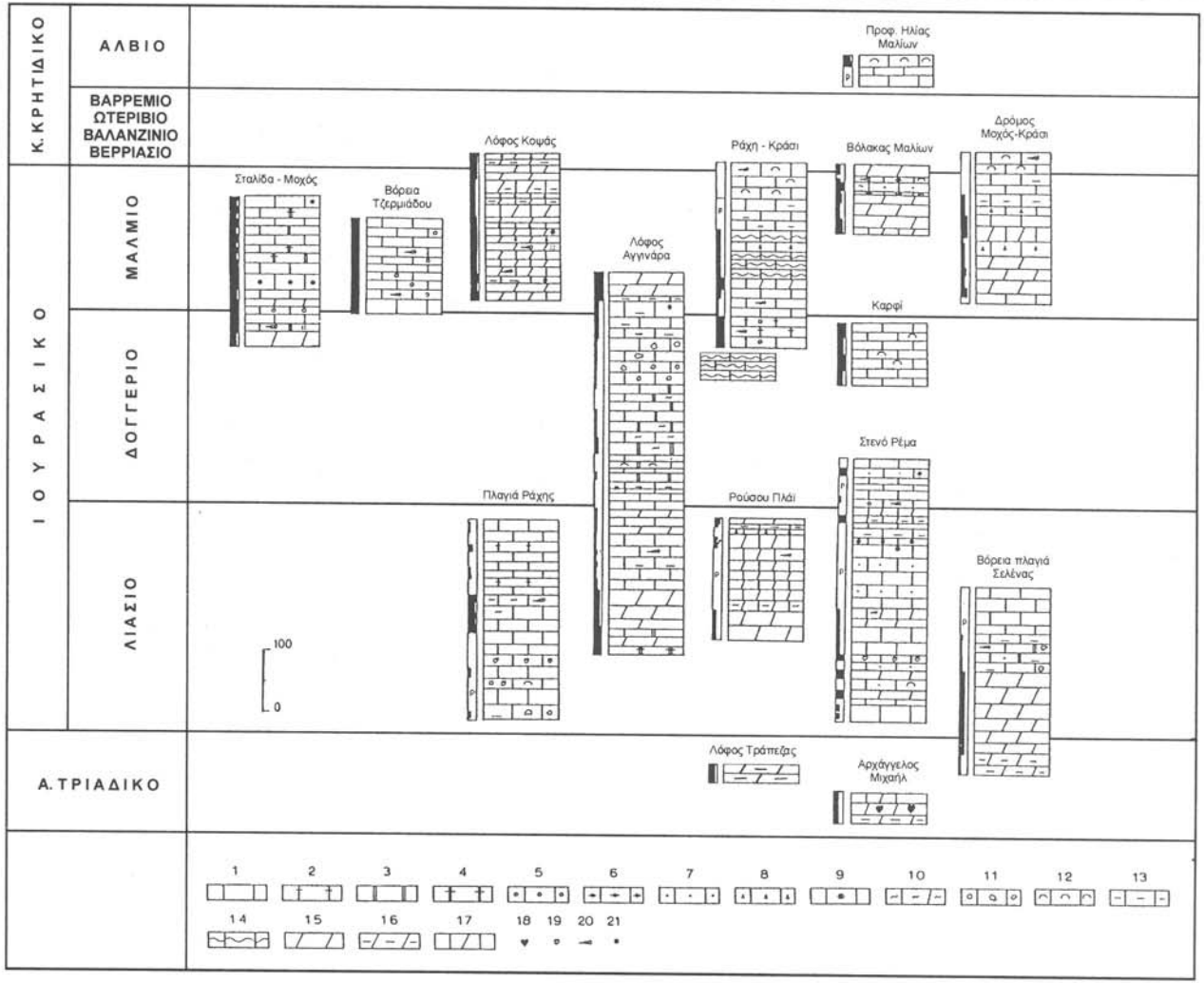
Οι ανώτεροι στρωματογραφικοί ορίζοντες της περιοχής είναι άστρωτοι ή παχυστρωματώδεις, τεφροί έως τεφρομέλανες δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και μεσοστρωματώδεις λευκότεφροι μικριτικοί ασβεστόλιθοι με πληθώρα ρουδιστών, μεταξύ των οποίων, βορειοδυτικά της Σταλίδας, στην περιοχή των ξενοδοχείων Armida και Horizon Beach προσδιορίστηκε το είδος Durania sp. ηλικίας Τουρωνίου-Σενονίου. Στην διασταύρωση των δρόμων από Χερσόνησο προς Καστέλλι Πεδιάδας και προς το Οροπέδιο του Λασιθίου σε δείγματα από μαύρους, μεσοστρωματώδεις ασβεστολίθους, προσδιορίστηκε, μεταξύ των άλλων, και Pseudotextulariella sepfontainei ALTINER & DECROUEZ που πιστοποιεί το Άπτιο.

Η λεπτομερής στρωματογραφική μελέτη της περιοχής απέδειξε την ύπαρξη δίπλα-δίπλα σχηματισμών διαφορετικής ηλικίας. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τη δράση ρηγμάτων, ο εντοπισμός των οποίων στην ύπαιθρο, εξ αιτίας της λιθολογικής ομοιομορφίας, δεν είναι πάντοτε δυνατός.

Τον τεκτονικό ιστό του καλύμματος της Τρίπολης στην περιοχή μελέτης τον συνθέτουν ρήγματα, διακλάσεις και πτυχές.

Ένας σημαντικός αριθμός ρηγμάτων κατατέμνει την ανθρακική μάζα της Τρίπολης. Τα ρήγματα αναπτύσσονται κατά μήκος των παρακάτω τριών προτιμητέων διευθύνσεων: i) Α-Δ (100° - 280°), ii) ΒΒΑ-ΝΝΔ (5° - 185°) και iii) ΒΑ-ΝΔ (60° - 240°). Μερικά από σημαντικότερα ρήγματα είναι σημειωμένα στον γεωλογικό χάρτη της εικ. 2.

Από τα σημειωμένα στον πιο πάνω γεωλογικό χάρτη ρήγματα τα περισσότερα σίγουρα έχουν λειτουργήσει πριν από την τεκτονική τοποθέτηση του καλύμματος της Τρίπολης επί των Φυλλιτών - Χαλαζιτών, δεδομένου ότι οι μεγάλες ρηξιγενείς γραμμές δεν κόβουν την επαφή των δυο καλυμμάτων.



Εικ. 2: Γενικά λιθο-ομικά χαρακτηριστικά και συσχετισμός λιθοστρωματογραφικών τομών της ανθρακικής ακολουθίας της Τρίπολης

1. Μικριτικοί ασβεστόλιθοι
2. Ενδομικριτικοί ασβεστόλιθοι
3. Σπαριτικοί ασβεστόλιθοι
4. Ενδοσπαριτικοί ασβεστόλιθοι
5. Βιομικριτικοί ασβεστόλιθοι
6. Ενδοβιομικριτικοί ασβεστόλιθοι
7. Πελμικριτικοί ασβεστόλιθοι
8. Μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι
9. Ασβεστόλιθοι με ογκοειδή
10. Ασβεστόλιθοι ή δολομίτες με δομές bird's eyes
11. Ασβεστόλιθοι με κλάστες
12. Ασβεστόλιθοι με θραύσματα ελασματοβραγχίων
13. Ασβεστόλιθοι με ταινιωτή υφή
14. Στρωματολιθικοί ασβεστόλιθοι
15. Δολομίτες
16. Στρωματολιθικοί δολομίτες
17. Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι
18. Megalodon του τριαδικού
19. Μικρά Megalodon του Λιασίου
20. Γαστερόποδα
21. Ανακρυσταλλωμένα φύκη

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η πιο στενή στήλη κάθε λιθοστρωματογραφικής τομής σχετίζεται με το χρώμα των ανθρακικών. Όλο το πλάτος της στήλης μαύρο αντιστοιχεί σε μαύρα - μελανότεφρα ανθρακικά. Όλο το πλάτος της στήλης λευκό αντιστοιχεί σε λευκού χρώματος ανθρακικά. Ενδιάμεσα πλάτη αντιστοιχούν σε ενδιάμεσες αποχρώσεις μεταξύ μαύρου και λευκού. Με το γράμμα **p** σημειώνονται οι ασβεστόλιθοι με ροδίζουσα χροιά.

Νεοτεκτονικές κινήσεις, όπως προκύπτει και από τις εργασίες των Boekschoten 1962, Angelier 1980, Μουρτζάς 1990, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σημερινής εικόνας στην περιοχή μελέτης. Ένα από τα αποτελέσματα της νεοτεκτονικής δράσης είναι οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές, που έχουν καταγραφεί σε πολλά σημεία κατά μήκος των βορείων παραλίων της περιοχής έχουν επηρεάσει, μέχρις ενός βαθμού, το επίπεδο βάσης του καρστ.

Οι διακλάσεις αποτελούν ένα πολύ συχνό τεκτονικό χαρακτηριστικό των ανθρακικών της Τρίπολης και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και στην ανάπτυξη ποικίλων καρστικών μορφών. Διαμορφώνονται δυο κύρια συστήματα διακλάσεων τα οποία, κατά κανόνα, διευθύνονται παράλληλα και κάθετα προς την παράταξη των επιφανειών στρώσης.

Από την επεξεργασία πολυάριθμων μετρήσεων διαπιστώθηκε μια τάση ανάπτυξης των κύριων συστημάτων διακλάσεων εκατέρωθεν των διευθύνσεων Α-Δ (τα πρωτεύοντα συστήματα) και Β-Ν (τα δευτερεύοντα). Η συχνότητα του πρωτεύοντος συστήματος διακλάσεων κυμαίνεται μεταξύ τεσσάρων και εξήντα διακλάσεων ανά μέτρο, με μια μέση τιμή δώδεκα διακλάσεων ανά μέτρο. Το δευτερεύον σύστημα εμφανίζεται με συχνότητα μιας διάκλασης ανά μέτρο. Η παρουσία των δυο συστημάτων διακλάσεων έχει προκαλέσει συν τοις άλλοις, τον κατακερματισμό των πετρωμάτων ο οποίος, σε συνδυασμό με την επιφάνεια στρώσης, οδηγεί στον αποχωρισμό και απομάκρυνση τεμαχών, ποικίλων διαστάσεων.

Ο πτυχογόνος τεκτονισμός είναι περισσότερο έκδηλος στα "Στρώματα Ραβδούχων", όπου αναπτύσσονται μικροσκοπικής και μεσοσκοπικής κλίμακας πτυχές. Αντίθετα στα ανθρακικά της Τρίπολης παρατηρούνται πτυχές μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας, με μήκος κύματος της τάξης των πέντε έως διακοσίων μέτρων. Οι διευθύνσεις των αξόνων των πτυχών είναι ΒΔ-ΝΔ και Α-Δ. Οι κυμάνσεις αυτές αλλάζουν τοπικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειών στρώσης.

2.3. Νεογενή ιζήματα

Τα νεογενή ιζήματα αναπτύσσονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης. Έχουν περιορισμένη ανάπτυξη γύρω από τα Μάλια και μεγαλύτερη ανάπτυξη στην περιοχή Κουτουλουφάρι - Χερσόνησος - Λιμένας Χερσονήσου.

Στην περιοχή των Μαλίων απαντούν βιοκλαστικοί, υφαλώδεις, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Βιδάκης et al 1989, Αλεξόπουλος 1990), μερικές φορές λατυποπαγείς που στη βάση τους συνήθως απαντά ένας κροκαλο-λατυποπαγής ορίζοντας με στοιχεία που προέρχονται από την διάβρωση των αλπικών σχηματισμών των τεκτονικών καλυμμάτων. Οι κροκαλολατύπες βρίσκονται μέσα σε μια αργιλο-μαργαϊκή θεμελιώδη μάζα, κίτρινη ή ερυθρόχροη, και παρουσιάζουν μια κατανομή κατά την κατακόρυφη έννοια, αντίθετη με την διάταξη των τεκτονικών καλυμμάτων. Δηλαδή στα βαθύτερα στρώματα επικρατούν στοιχεία που προέρχονται από την διάβρωση των ανώτερων τεκτονικών καλυμμάτων ενώ στα ψηλότερα απαντούν στοιχεία από την ενότητα Φυλλιτών - Χαλαζιτών και Κρήτης-Μάνης.

Στην περιοχή της Χερσονήσου απαντούν ποταμολιμναίες, κιτρινόχροες, υποκύανες ή πράσινες άργιλοι και μάργες με ψαμμίτες και ορίζοντες πολύμικτων κροκαλοπαγών (Αναπλιώτης 1975, Βιδάκης et al 1989).

2.4. Τεταρτογενές

Στο Τεταρτογενές εντάσσονται οι παράκτιες πλειστοκαινικές και ολοκαινικές αποθέσεις και θαλάσσιες αναβαθμίδες οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι κώνοι κορημάτων και τα πλευρικά κορήματα (βλ. εικ.2).

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1. Γενικά

Η σχέση των διάφορων τεκτονικών ενοτήτων που συμμετέχουν στη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής μελέτης, η ποικιλία των λιθολογιών που συμμετέχουν στη σύσταση των ενοτήτων αυτών, ο βαθμός της τεκτονικής τους καταπόνησης και ο βαθμός καρστικοποίησης των ανθρακικών σχηματισμών, είναι οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν στα προνεογενή πετρώματα την κυκλοφορία των υπόγειων υδάτων, τη δημιουργία υπόγειων υδροφόρων οριζόντων ή υδροφόρων συστημάτων και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρογεωλογικών λεκανών στην περιοχή μελέτης.

Αυτούς τους παράγοντες καθώς και το πώς επηρεάζουν ή το πως διαμορφώνουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, θα εξετάσουμε διεξοδικά στη συνέχεια.

3.2. Κάλυμμα Φυλλιτών - Χαλαζιτών (Φ.Χ)

Καθοριστικός είναι ο ρόλος των Φυλλιτών - Χαλαζιτών στην διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Όπως φαίνεται από τις προηγούμενες περιγραφές, το κάλυμμα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών συγκροτείται, κατά βάση, από αδιαπέρατους σχηματισμούς και ως εκ τούτου δεν αναμένεται η ανάπτυξη, άξιας λόγου, υδροφορίας μέσα σ'αυτούς.

Η υδρογεωλογική τους όμως σημασία έγκειται στο γεγονός ότι υπόκεινται τεκτονικά των μακροπερατών ανθρακικών σχηματισμών του καλύμματος της Τρίπολης και αυτό, όπως θα δούμε στη συνέχεια, σε συνδυασμό με την μορφή της επιφάνειας επώθησης της Τρίπολης επί των Φ.Χ., καθορίζει την τελική διακίνηση των υδάτων που κατεισδύουν στα ανθρακικά της Τρίπολης.

Η προαναφερθείσα τεκτονική επιφάνεια έχει μια γενική κλίση προς τα βόρεια παράλια. Έτσι τελικός αποδέκτης των υπογείων υδάτων, αλλού ευκολότερα και αλλού δυσκολότερα, είναι η θάλασσα. Τοπικά όμως δημιουργούνται υπόγειοι υδροκρίτες, που η παρουσία τους διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διακίνηση των υπογείων υδάτων, στους οποίους αναφερόμαστε στη συνέχεια.

3.3. Κάλυμμα Τρίπολης

Από υδρογεωλογικής άποψης, τα πιο σημαντικά πετρώματα στην περιοχή μελέτης είναι τα ανθρακικά της Τρίπολης. Τα στρώματα Ραβδούχων (στρώματα Τυρού), που αποτελούν τη στρωματογραφική βάση των ανθρακικών της Τρίπολης, όπου εμφανίζονται ή αναμένεται να εμφανιστούν, συμπεριφέρονται ακριβώς όπως συμπεριφέρονται οι Φυλλίτες - Χαλαζίτες.

Οι παράγοντες που καθορίζουν και ελέγχουν την υδρογεωλογική συμπεριφορά των ανθρακικών πετρωμάτων της Τρίπολης είναι: α) ο ρηγματογόνος τεκτονισμός β) η γεωμετρία της επιφάνειας επώθησης της ενότητας της Τρίπολης επί των Φυλλιτών - Χαλαζιτών γ) οι πάσης φύσεως ασυνέχειες (επιφάνειες στρώσης - διακλάσεις) δ) ο βαθμός καρστοποίησης και γ) η μερική πλήρωση των καρστικών εγκοίλων και αγωγών με ερυθρογή.

Σε σχέση με την επίδραση του ρηγματογόνου τεκτονισμού στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών σημειώνουμε τα παρακάτω:

- Από τα ρήγματα που κατατέμνουν το κάλυμμα της Τρίπολης ως σημαντικότερα θεωρούμε: α) το μεγάλο σε μήκος ρήγμα που βρίσκεται ανατολικά της Τράπεζας και που από τα βόρεια παράλια φτάνει μέχρι τον Αποσελέμη ποταμό, στο ύψος του εξωκλησιού Αρχάγγελος Μιχαήλ και β) το επίσης μεγάλο ρήγμα που σημειώνεται δυτικά της Σταλίδας και εκτείνεται μέχρι τον Μοχό.
- Τα δυο αυτά μεγάλα ρήγματα δημιουργούν στην ευρύτερη περιοχή τρία ρηξιτεμάχη: α) το ρηξιτέμαχος δυτικά της Τράπεζας-Αρχαγγέλου Μιχαήλ (δυτικό ρηξιτέμαχος) β) το ρηξιτέμαχος Σελλίων, μεταξύ Τράπεζας και Σταλίδας (κεντρικό ρηξιτέμαχος) και γ) το σύνθετο ρηξιτέμαχος Μοχού Μαλίων (ανατολικό). Σε κάθε ένα από τα ρηξιτεμάχη αυτά διαμορφώνονται διαφορετικές υδρογεωλογικές συνθήκες οι οποίες κατά κύριο λόγο ελέγχονται από την γεωμετρία της επιφάνειας επώθησης των ανθρακικών της Τρίπολης επί των υποκείμενων Φυλλιτών - Χαλαζιτών.
- Το πρώτο ρήγμα (ρήγμα Τράπεζας - Αρχ. Μιχαήλ) χαρακτηρίζεται από μια περιστροφή των δυο τεμαχών του γύρω από έναν άξονα ΒΔ-ΝΑ διευθύνσεως περίπου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση του δυτικού τεμάχους στην περιοχή της Τράπεζας και ταπείνωση του ίδιου τεμάχους στην περιοχή της Ξηροκαμάρας (βλέπε εικ. 2), και την ταπείνωση του ανατολικού τεμάχους προς την έξοδο του ρέματος 1Χώνες1 και ανύψωσή του στην περιοχή του Αρχαγγέλου Μιχαήλ. Η περιστροφή αυτή τεκμηριώνεται στρωματογραφικά και βασικό αποδεικτικό στοιχείο είναι η ανεύρεση του Τριαδικού σε δυο αντιδιαμετρικές περιοχές, μια στην Τράπεζα και μια στον Αρχάγγελο Μιχαήλ, και την ανάπτυξη νεώτερων στρωματογραφικών οριζόντων σε αντίθετες κατευθύνσεις, εκατέρωθεν του μεγάλου ρήγματος.
- Η εμφάνιση του Α. Τριαδικού στην περιοχή της Τράπεζας υποδηλώνει την παρουσία των 1Στρωμάτων Τυρού1 (στρώματα Ραβδούχων) ή των Φυλλιτών - Χαλαζιτών σε σχετικά μικρό βάθος. Αυτό, σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα περιστροφή, έχει ως συνέπεια την άμεση εκφόρτιση υπογείων υδάτων στη θάλασσα και την εκδήλωση υποθαλάσσιων πηγών Β και ΒΑ της Τράπεζας (βλ. εικ. 2).

• Σε σχέση με τη γεωμετρία της επιφάνειας επώθησης του καλύμματος της Τρίπολης επί των Φυλλιτών - Χαλαζιτών αναφέρουμε τα παρακάτω:

- Η τεκτονική αυτή επαφή έχει μια γενική κλίση προς τα βόρεια παράλια και προς τα εκεί κατευθύνονται σε γενικές γραμμές τα υπόγεια νερά. Τοπικά όμως η γεωμετρία της επιφάνειας επώθησης αλλάζει και η αλλαγή αυτή δημιουργεί υπόγειους υδροκρίτες που αυτοί, με τη σειρά τους, καθορίζουν υδρογεωλογικές λεκάνες στις οποίες οι ποσότητες και η πορεία του υπόγειου νερού διαφέρουν σημαντικά.

- Ιδιαίτερη σημασία έχει ο εντοπισμός, κάτω από τα ανθρακικά της Τρίπολης, μιας μικρής εμφάνισης της ενότητας των Φυλλιτών - Χαλαζιτών νότια της Χερσονήσου. Η εμφάνιση αυτή χωρίζει το δυτικό ρηξιτέμαχος σε δυο επί μέρους ανθρακικές υδρογεωλογικές λεκάνες (βλ. εικ. 2.) από τις οποίες η μεν μια εκφορτίζεται προς τα ΒΑ (περιοχή Τράπεζας) η δε άλλη προς τα ΝΔ. Κατά προσέγγιση η θέση του υπόγειου υδροκρίτη και οι διευθύνσεις προς τις οποίες κινείται το υπόγειο νερό, σημειώνεται στον χάρτη της εικόνας 2. Είναι προφανές ότι οι ποσότητες του υπόγειου νερού που διακινούνται προς τα ΒΑ και εκφορτίζονται προς την περιοχή της Τράπεζας, δηλ. προς μια από τις περιοχές από τις οποίες διέρχεται ο βόρειος οδικός άξονας Κρήτης, είναι συνάρτηση της επιφανειακής ανάπτυξης των ανθρακικών της Τρίπολης ΒΑ του σημειούμενου στον χάρτη της εικ. 2 υπόγειου υδροκρίτη και όχι ολόκληρης της έκτασης των ανθρακικών του δυτικού ρηξιτεμάχους. Οι ποσότητες αυτές, πολύ συντηρητικά, εκτιμούνται σε 1 έως 1,5 *106 m^3.

Η παρουσία των υδατοστεγανών αργίλων - μαργών του Νεογενούς βόρεια της ανθρακικής μάζας του Πυργιά (βόρεια της γραμμής Χερσόνησος - Πισκοπιανό - Κουτουλουφάρι) δημιουργεί ένα φράγμα στην κίνηση των υπόγειων νερών προς τα βόρεια, αναγκάζοντάς τα έτσι να στραφούν προς την περιοχή της Τράπεζας όπου και εκφορτίζονται. Αυτό σε συνδυασμό με τις προηγούμενες στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις (δηλ. την παρουσία του Τριαδικού στην περιοχή της Τράπεζας και την κλίση της επιφάνειας επώθησης βόρεια του Πυργιά) μας επιτρέπει να εκφράσουμε την άποψη ότι περιοχές που προσφέρονται για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων είναι οι περιοχές των ανθρακικών αμέσως νότια και νοτιοδυτικά από το Κουτουλουφάρι.

- Η γεωμετρία της επιφάνειας επώθησης από τον Αρχάγγελο Μιχαήλ μέχρι το Κράσι μας υποδεικνύει την παρουσία ενός άλλου υπόγειου υδροκρίτη κατά μήκος της νοητής γραμμής Σταλίδας - Μοχού (βλ. εικ. 2.). Δυτικά από τον υδροκρίτη αυτόν, δηλ. στο κεντρικό ρηξιτέμαχος, η τεκτονική επαφή κλίνει προς τα Δ-ΒΔ, τα δε υπόγεια νερά κινούμενα κατά μήκος αυτής της επαφής εκφορτίζονται μεταξύ Τράπεζας και Σταλίδας. Ως εκ τούτου αναμένεται η ανάπτυξη ενός αξιόλογου καρστικού υδροφόρου συστήματος στα ανθρακικά κάτω από τα κορήματα και τον κώνο κορημάτων του ρέματος Χώνες, που όμως η προαναφερθείσα δυναμική εξέλιξη του κεντρικού ρηξιτεμάχους, μας προδιαθέτει για μια πιθανή ανάμιξη των υπογείων υδάτων της περιοχής με το θαλασσινό νερό. Οι εκτιμούμενες ποσότητες κατεισδύοντος νερού είναι υπερδιπλάσιες της προηγούμενης περιοχής. Έτσι η περιοχή του ρέματος Χώνες προσφέρεται για την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων. Όμως οι πιθανότητες ανεύρεσης καλής ποιότητας νερού είναι μικρές όσο πλησιάζουμε προς την ακτή, μεγαλύτερες όμως όσο προχωράμε προς το εσωτερικό του ρέματος.
- Ανατολικά του υπόγειου υδροκρίτη Σταλίδας - Μοχού, δηλ. στο ανατολικό ρηξιτέμαχος, η κλίση της επιφάνειας επώθησης κατευθύνει τα υπόγεια νερά, κατά το μάλλον ή ήττον, προς τα βόρεια. Τα ανθρακικά του τεμάχους αυτού τροφοδοτούνται με μεγάλες ποσότητες νερού και από την ορεινή μάζα της Σελένας γεγονός που δικαιολογεί την καλή ποιότητα των περισσοτέρων υδρογεωτρήσεων που έχουν διανοιχτεί νότια των Μαλίων. Βέβαια μερικές από τις υδρογεωτρήσεις αυτές παρουσιάζουν μια εποχική αύξηση της περιεκτικότητας των ιόντων χλωρίου, χωρίς όμως να έχουν καταγραφεί από την ΔΕΥΑΗ συγκεντρώσεις τέτοιες που να καθιστούν απαγορευτική την χρήση των υδάτων αυτών. Από παρατηρήσεις μας διαπιστώθηκε ότι διακύμανση της περιεκτικότητας των ιόντων χλωρίου συνδέεται άμεσα με το ύψος βροχής του βροχομετρικού σταθμού του Τζερμιάδου και ιδιαίτερα με την χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων στους μήνες Νοέμβριος έως και Απρίλιος. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι αντικείμενο άλλης εργασίας.
- Η ανθρακική μάζα του ανατολικού ρηξιτεμάχους οριοθετείται προς τη θάλασσα από τις πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις και υφαλώδεις μαργαϊκούς ασβεστολίθους του Νεογενούς, που στην περιοχή των Μαλίων φαίνεται ότι εν μέρει τους τροφοδοτεί. Δια μέσου δε των ασβεστολίθων αυτών λαμβάνει χώρα και μερική εκφόρτιση των υπογείων υδάτων στη θάλασσα, η οποία πιστοποιείται από την εμφάνιση παράκτιων και υποθαλάσσιων πηγών στις ακτές βόρεια των Μαλίων.

Όσον αφορά τους υπόλοιπους παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών στα ανθρακικά τις Τρίπολης σημειώνουμε τα παρακάτω:

- Οι πάσης φύσεως ασυνέχειες έχουν προκαλέσει κατακερματισμό της ανθρακικής μάζας, ο οποίος κατά θέσεις είναι πολύ έντονος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφ΄ενός μεν την διαμόρφωση υψηλών τιμών συντελεστού κατείσδυσης (μεγαλύτερες του 50%), αφ'ετέρου δε διευκολύνουν τις διεργασίες της καρστικοποίησης.
- Η καρστοποίηση, αν και κατά περιοχές είναι εκλεκτική, εν τούτοις είναι ισχυρή. Στα ανθρακικά της Τρίπολης δημιουργείται μια μεγάλη ποικιλία καρστικών μορφών, από απλές δακτυλογλυφές μέχρι δολίνες, καρστικά έγκοιλα ή σπήλαια. Έτσι το κάλυμμα της Τρίπολης συμπεριφέρεται στο σύνολό του ως ολοκαρστικός σχηματισμός, πλην όμως η ακανόνιστη δολομιτίωση επηρεάζει και ελέγχει κατά περιοχές την έκταση και τον βαθμό της καρστικοποίησης. Οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας από το πλειστόκαινο μέχρι σήμερα, ασφαλώς και έχουν επηρεάσει στη διαμόρφωση του επιπέδου βάσης του κάρστ
- Οι μακροχρόνιες διαδικασίες της καρστοποίησης, μεταξύ των άλλων έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία

ερυθρογής (κοκκινοχωμάτων) η οποία, σε πολλές περιοχές, και ιδιαίτερα στις μισγάγγειες, έχει πληρώσει σε διάφορα βάθη, τις ασυνέχειες και τις καρστικές μορφές. Η πλήρωση αυτή δημιουργεί προβλήματα τόσο στην κατείσδυση των υδάτων όσο και στην ανάπτυξη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων.

3.4. ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΟΥΣ

Οι αποθέσεις αυτές, από την άποψη δημιουργίας εκμεταλλεύσιμων υδροφόρων οριζόντων, παρουσιάζουν περιορισμένο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Στην παραλιακή ζώνη των Μαλίων, τόσο στις πρόσφατες αποθέσεις όσο και στους νεογενείς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή αυτή, αναπτύσσονταν, μέχρι και τη δεκαετία το 80, σημαντικοί υδροφόροι ορίζοντες. Η εντατική όμως εκμετάλλευση των υδροφόρων οριζόντων είχε ως αποτέλεσμα τον υποβιβασμό της ποιότητας του υπόγειου νερού, εξ αιτίας διείσδυσης της θάλασσας (Λαμπράκης et al 1999). Στην παραλιακή ζώνη των Μαλίων, σε μια έκταση 11 Km2, έχουν διανοιχτεί πάνω από 2.000 υδροληπτικά έργα, κυρίως πηγάδια, πολλά από τα οποία σήμερα, λόγω της υφαλμύρινσης των υδάτων, δε χρησιμοποιούνται, έχουν στερέψει ή έχουν μετατραπεί σε συλλέκτες οικιακών αποβλήτων και βοθρολημάτων.

Οι αποθέσεις αυτές όμως έχουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον από την άποψη ότι σε ορισμένες περιοχές, όπως στην περιοχή Χερσονήσου - Κουτουλουφάρι και στην παραλιακή ζώνη των Μαλίων, παρεμποδίζουν την άμεση εκφόρτιση των καρστικών νερών της Τρίπολης στη θάλασσα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Απ'όσα αναπτύχθηκαν προηγουμένως προκύπτουν ότι:

- Η συνδυασμένη αξιολόγηση στρωματογραφικών και τεκτονικών στοιχείων είναι ένα βασικό και χρήσιμο εργαλείο τόσο για την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής όσο και για την ορθολογική εκμετάλλευση του υπόγειου δυναμικού καρστικών περιοχών.
- Στην γεωλογική δομή της περιοχής συμμετέχουν τα τεκτονικά καλύμματα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών και της Τρίπολης για τα οποία δίδονται λεπτομέρειες σχετικά με τις λιθολογίες που συμμετέχουν σ'αυτά, την ηλικία τους και την τεκτονική τους.
- Η μορφολογία της επιφάνειας επώθησης των ανθρακικών της Τρίπολης με τους υποκείμενους Φυλλίτες - Χαλαζίτες, ο τεκτονισμός τους, η στρωματογραφική τους διάρθρωση, ο βαθμός καρστικοποίησης και η σχέση τους με τα Νεογενή, καθορίζουν και ελέγχουν, κατά κύριο λόγο, την ανάπτυξη καρστικών υδροφόρων συστημάτων και την ροή των υπογείων υδάτων στα ανθρακικά αυτά.
- Ο λιθολογικός σχηματισμός ο οποίος θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε νερό κατά μήκος του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης, στο τμήμα μεταξύ Χερσονήσου - ορίων Ν. Λασιθίου, είναι τα ανθρακικά της Τρίπολης.
- Αξιολογώντας όλα τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι οι πλέον ευνοϊκές περιοχές για την ανεύρεση καλής ποιότητας υπόγειου νερού, χωρίς να επηρεαστεί το ήδη υπερεκμεταλλευόμενο πεδίο των Μαλίων, είναι οι περιοχές νότια και νοτιοδυτικά του οικισμού Κουτουλουφάρι (δυτικό ρηξιτέμαχος).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Α. 1990. Περί των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών του τοπογραφικού φύλλου Μοχός (Κεντροανατολική Κρήτη). Διατριβή επί διδακτορία. Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 650.

ΑΝΑΠΛΙΩΤΗΣ, Κ. 1975. Contribution a la connaissance du Neogene d'Heraklion (region de Chersonissos). Ann. Geol. D. Pays Hell., 27. 96-109.

ANGELIER, J. 1980. Neotectonique de l'aec Egeen. These de Doctorat d'Etat. Soc. Geol. Nord, Lille, 3, 418 p.

BOEKSCHOTEN, G. 1962. Beachrock at Limani, Chersonisos, Crete. Geol. En Mijnbouw, 41, 3-7.

BONNEAU, M. 1973. Les unites tectoniques de l'ile de Crete (Grece). Prem. Reun. Ann des Sc De la Terre, Paris, 90.

ΒΙΔΑΚΗΣ, Μ., MEULEUNKAMP, E., JONKERS, A. 1989. Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας, φύλλο Μοχός, κλίμακα 1:50.000, Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΝΟΚΑΣ-ΖΩΓΡΑΦΟΣ, Η., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. 1999. Προβλήματα υφαλμύρινσης παράκτιων υδροφόρων λόγω κακής διαχείρισής τους. Παραδείγματα από την πελοπόννησο την Κρήτη και την Σύρο.

ΜΟΥΡΤΖΑΣ, Ν. 1990. Τεκτονικές κινήσεις κατά το Τεταρτογενές στις ακτές της Ανατολικής Κρήτης. Διατριβή επί διδακτορία. Ε.Μ.Π. Αθήνα, σελ. 480.

SEIDEL, E., 1978 Zur petrology der Phyllit-Quartzit Serie Kretas. Thesis, Braunschweig.

ΦΑΣΟΥΛΑΣ, Χ. 1995. Κινηματική και παραμόρφωση των καλυμμάτων της Κεντρικής Κρήτης. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.

ΦΥΤΡΟΛΑΚΗΣ, Ν. 1980. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Προβλήματα, παρατηρήσεις, συμπεράσματα. Διατριβή επί υφηγεσία. Ε.Μ.Π., Αθήνα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ: Οι παλαιοντολογικοί προσδιορισμοί έχουν γίνει από την κ. Α. Ζαμπετάκη - Λέκκα την οποία και θερμώς ευχαριστώ.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1793-1800, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1793-1800, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΟΙ ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ – ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ*

Π.Κ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Οι πρώτες λιθοστρωματογραφικές έρευνες των αλλουβιακών ιζημάτων του Αργολικού πεδίου που έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 1960, περιορίζονταν στο κεντρικό και νότιο τμήμα του και σε βάθος μέχρι 60-70 μέτρα περίπου. Με την επεξεργασία πρόσθετων στοιχείων, η παρούσα έρευνα επεκτάθηκε σε βάθος και έκταση μέχρι το πρακτικά αδιαπέρατο υπόβαθρο της λεκάνης και τα περιθώρια της πεδιάδας αντίστοιχα. Προσδιορίστηκε το είδος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων σχηματισμών. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας απαντούν υπό πίεση υδροφόροι σχηματισμοί, που καλύπτονται επιφανειακά από ένα εκτεταμένο στρώμα ερυθράς μαργαϊκής αργίλου, ενώ προς τα περιθώριά της αναπτύσσονται ελεύθεροι υδροφόροι σχηματισμοί. Το υπόβαθρο των υδροφόρων σχηματισμών αποτελείται κυρίως από φλύσχη και εκτεταμένα αργιλώδη ιζήματα ενώ κατά θέσεις απαντούν εξάρσεις μεσοζωικών ασβεστολίθων.

ABSTRACT

The alluvial sediments' stratigraphy of the plain of Argos (Greece) has first been investigated during sixties in order to assist the study and confrontation of the seawater intrusion problem in the area. The need of employing modern modeling techniques for the simulation of groundwater flow and pollution transport in the aquifers necessitated further hydrostratigraphic research. The objective of the current research was the further investigation of the hydrostratigraphy not only in the central and southern part of the plain but also throughout the entire plain and further deeper up to base of the aquifers. Specific geometrical features of the alluvial sequence were sought such us the base and the top of the aquifers as well as their structure.

Thus, all the available borehole logs were collected, mapped in the field and classified according to their accuracy and their detail. Thirteen hydrostratigraphic sections were drawn. It was found out that the central and southern part of the plain is covered superficially by a "clay cap" which consists of red – marl clay and is ten to twenty metres thick. Under this clay cap, a number of confined aquifer layers is developed which are progressively merged towards the periphery of the plain to a single unconfined aquifer thus forming "Piedmont" type of deposits. The sediments' bedrock includes various kinds of alpine and post-alpine sediments such as flysch, limestones and Neogene marl conglomerates and extended clay layers. Its' shape has mainly been controlled by various normal faults and tectonic movements.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αργολικό πεδίο, αλλουβιακοί υδροφόροι, λιθοστρωματογραφία.
KEY WORDS: Plain of Argos, alluvial aquifers, hydrostratigraphy.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών από την υφαλμύρινση, στο τέλος της δεκαετίας του 1950, προσέλκυσε το ενδιαφέρον διαφόρων υπηρεσιών και επιστημόνων. Μετά από προκαταρκτικές εργασίες, τον Απρίλιο του 1962, συστάθηκε ομάδα εργασίας αποτελούμενη από εκπροσώπους των ενδιαφερόμενων Υπουργείων (Υ.Σ., Υ.Δ.Ε, Υ.Γ, και ΙΓΕΥ), καθώς και από εμπειρογνώμονες του FAO και της TAHAL Ltd η οποία κατάρτισε ένα γενικό πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών και μελετών για τον προσδιορισμό των υδατικών πόρων της λεκάνης του Αργολικού Πεδίου και την υπόδειξη μέτρων για την αντιμετώπιση της υφαλμύρινσης των υδροφόρων οριζόντων. Το σχετικό πρόγραμμα καταρτίστηκε τα έτη 1962-63 οπότε και άρχισε άμεσα η εφαρμογή του.

Σε ότι αφορά στη στρωματογραφία, το πρόγραμμα αυτό μεταξύ των άλλων περιελάμβανε την εκτέλεση 60 ερευνητικών γεωτρήσεων, με σκοπό τη λεπτομερή στρωματογραφική έρευνα των αλλουβιακών αποθέσεων, τον

* HYDROSTRATIGRAPHY OF THE ALLUVIAL SEDIMENTS OF THE PLAIN OF ARGOS (GREECE) – AQUIFERS.

1. Γ. Κρέμου 13, 111 43 Αθήνα

καθορισμό των περιοχών τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών και των υδραυλικών τους ιδιοτήτων (*S, Sy, T, K*). Η εκτέλεση των παραπάνω γεωτρήσεων έγινε υπό την επίβλεψη των γεωλόγων Α. Γαλέου, Μ. Θάνου και Σ. Ζέρβα οι οποίοι ασχολήθηκαν επιμελώς με την συλλογή, αναγνώριση και αξιολόγηση των λιθολογικών δειγμάτων και τη σύνταξη των σχετικών στρωματογραφικών τομών των παραπάνω γεωτρήσεων. Από τις 59 γεωτρήσεις (Σχήμα 1) που τελικά έγιναν (Οκτώβριος 1962 - Μάιος 1964),ελήφθησαν 938 δείγματα, τα οποία εξετάστηκαν μακροσκοπικά και εν μέρει μικροσκοπικά. Για την ακριβέστερη διάγνωση της λιθολογικής τους σύστασης και την διάκριση ανάμεσα σε ασβεστόλιθο - μαργαϊκό ασβεστόλιθο - μάργα - μαργαϊκή άργιλο πραγματοποιήθηκαν ασβεστομετρήσεις σε όλα τα δείγματα. Η μικροπαλαιοντολογική εξέταση των απολιθωμάτων κατέστη αδύνατη με αποτέλεσμα να γίνουν μόνο μακροσκοπικές παρατηρήσεις, με σκοπό τον καθορισμό χερσαίων, θαλάσσιων ή και λιμναίων φάσεων, καθώς και τη συσχέτιση των τομών των γεωτρήσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων αυτών έγινε τελικά από το γεωλόγο Α. Γαλέο, ο οποίος συνέταξε μια σειρά λεπτομερών στρωματογραφικών τομών. Οι παραπάνω γεωτρήσεις έφταναν σε βάθος 60-70 m περίπου και σε σύγκριση με τα σημερινά δεδομένα εκμετάλλευσης των υδροφόρων σχηματισμών μπορούν να χαρακτηριστούν στην πλειοψηφία τους ως αβαθείς με εξαίρεση την 5η ερευνητική, βάθους 300 m, στο μέσο περίπου της ακτής του Αργολικού κόλπου (βλ. Σχήμα 1) και αυτή στην πλατεία της κοινότητας Ανυφί, βάθους 617 m (Α.Μ. 3438). Οι παραπάνω γεωτρήσεις στο σύνολό τους συγκεντρώνονταν κυρίως στην παραλιακή και στην κεντρική ζώνη του Αργολικού πεδίου. Συνεπώς η τότε λιθοστρωματογραφική έρευνα ήταν μεν λεπτομερής, αλλά περιοριζόταν κυρίως στην παραλιακή και κεντρική ζώνη και σε βάθος μέχρι 60-70m (βλ Θεοδωρόπουλος και Παπαπέτρου – Ζαμάνη, 1970). Η γεωλογία των αλπικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο, με το οποίο ασχολήθηκαν κατά καιρούς διάφοροι ερευνητές όπως π.χ. οι Philipson 1892, Dercourt, 1964, Τάταρης κ.α, 1964,Τάταρης και Καλλέργης, 1965, Τρικαλινός, 1968, Παπασταματίου κ.α 1970 κ.α.

2. ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η επέκταση των παραπάνω ερευνών σε βάθος αλλά και σε έκταση με σκοπό την αποτύπωση της όλης λιθοστρωματογραφικής δομής όχι μόνο στην παράκτια και στην κεντρική περιοχή του Αργολικού Πεδίου, η οποία είχε άμεση σχέση με το πρόβλημα της υφαλμύρινσης αλλά και στα περιθώριά του όπου η γεωλογική δομή ελέγχει τους μηχανισμούς πλευρικής και κατακόρυφης τροφοδοσίας των υδροφόρων σχηματισμών.

Στην υδρογεωλογική έρευνα το ενδιαφέρον επικεντρώνεται όχι τόσο στα στρωματογραφικά χαρακτηριστικά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών, με την κλασική έννοια της στρωματογραφίας, αλλά στη ταξινόμησή τους ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στην κίνηση του υπόγειου νερού. Έτσι δεν χρησιμοποιείται ο όρος στρωματογραφία, αλλά ο όρος "*λιθοστρωματογραφία*" ή "*υδροστρωματογραφία (hydrostratigraphy)*" (βλ. π.χ Anderson and Woessner, 1992)

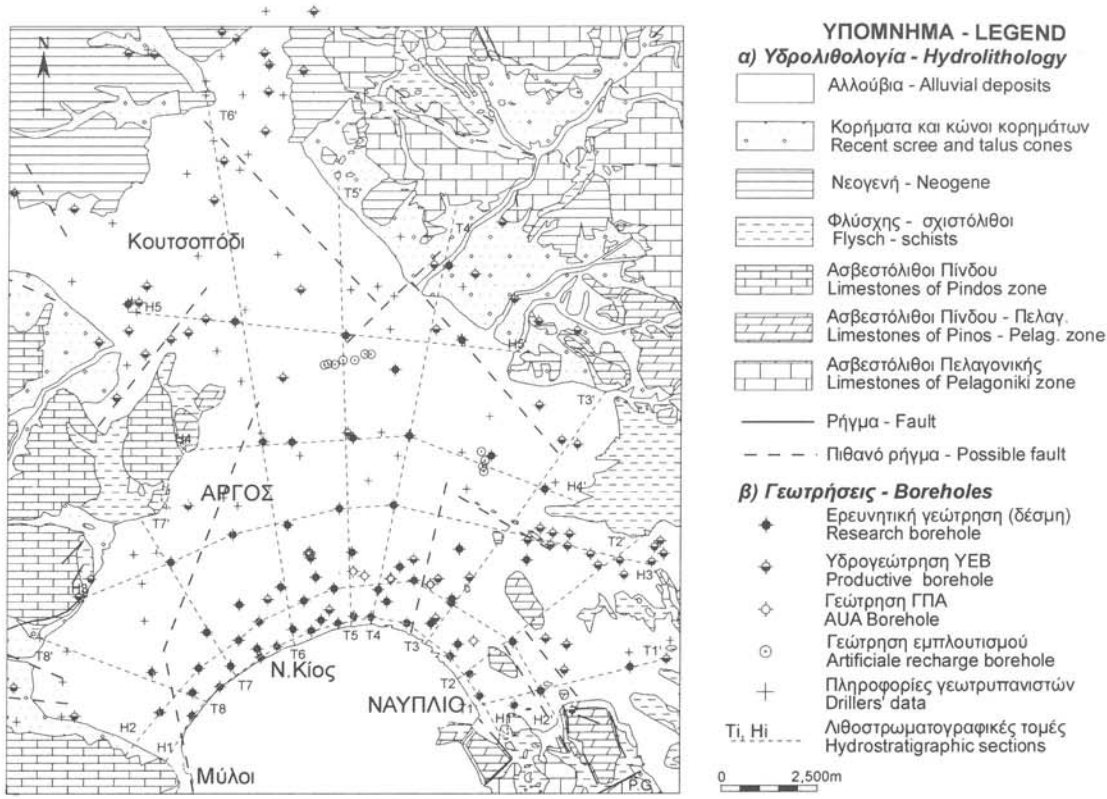
Στο Αργολικό πεδίο παρ' ότι έχουν γίνει περισσότερες από 15.000 γεωτρήσεις, ελάχιστες από αυτές έχουν αποτυπωθεί σε γεωλογικές τομές. Γεωλογικές τομές υπάρχουν για τις 59 ερευνητικές γεωτρήσεις[1] (δέσμες) της περιόδου 1962-64 και για 70 περίπου παραγωγικές υδρογεωτρήσεις[2], που κατασκευάστηκαν από την ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ. (Σχήμα 1). Οι πρώτες ερευνητικές γεωτρήσεις έδωσαν σχετικά λεπτομερή στρωματογραφικά στοιχεία, γιατί έγιναν με λήψη πυρήνα σε όλο τους το μήκος ή με κρουστικά γεωτρύπανα, ενώ στις μετέπειτα υδρογεωτρήσεις καταγράφηκαν, από την ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ, στοιχεία σε ότι αφορά στη θέση των υδροφόρων σχηματισμών που διατρήθηκαν, στο πάχος τους και περιγραφικά στοιχεία για τους στρωματογραφικούς ορίζοντες που απαντήθηκαν, όχι όμως τόσο ακριβή όσο αυτά των ερευνητικών γεωτρήσεων. Η αξιολόγηση όλων αυτών των τομών γεωτρήσεων μπορεί να δώσει περαιτέρω πληροφορίες για τη γεωμετρία αλλά και για το είδος των υδροφόρων σχηματισμών. Οι θέσεις των 59 ερευνητικών γεωτρήσεων ή "*Δεσμών γεωτρήσεων*" (βλ. Σχήμα 1) έχουν προσδιοριστεί με τοπογραφική αποτύπωση και είναι γνωστές με ακρίβεια, ενώ αντίθετα οι θέσεις των υπολοίπων υδρογεωτρήσεων της ΥΕΒ έχουν προσδιοριστεί μόνο από περιγραφικά στοιχεία για τον ιδιοκτήτη καθώς και τοπωνύμια. Έτσι, με τις προαναφερόμενες δυσκολίες και με ιδιαίτερη προσπάθεια, εντοπίστηκαν στο πεδίο και χαρτογραφήθηκαν όλες οι υδρογεωτρήσεις της ΥΕΒ που διέθεταν γεωλογικές τομές (Γιαννουλόπουλος, 2000).

Η όλη στρωματογραφική εικόνα συμπληρώθηκε ακόμη με τομές 10 ερευνητικών γεωτρήσεων, που έγιναν στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος του ΓΠΑ[3] καθώς και με δέκα τομές γεωτρήσεων εμπλου-

1 Στρωματογραφικαί Τομαί Ερευνητικών Γεωτρήσεων Αργολικού Πεδίου. Υπουργείο Γεωργίας (ΥΠ.ΓΕ), Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ), Δνσις Ι, Γεωλογικόν Εργαστήριον, Αθήνα 1966.

2 Τομές υδρογεωτρήσεων από το αντίστοιχα αρχεία της ΥΕΒ του ΥΠ.ΓΕ. Αθήνα.

3"Χρησιμοποίηση για άρδευση του νερού του φράγματος Κιβερίου Αργολίδας και παρακολούθηση και αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης του Αργολικού πεδίου". Επιστημονικός υπεύθυνος Α. Πουλοβασίλης



Σχήμα 1 Απλοποιημένος υδρολιθολογικός χάρτης του Αργολικού πεδίου. Θέσεις γεωτρήσεων και λιθοστρωματογραφικών τομών (βλ. Σχήματα 2, 3)

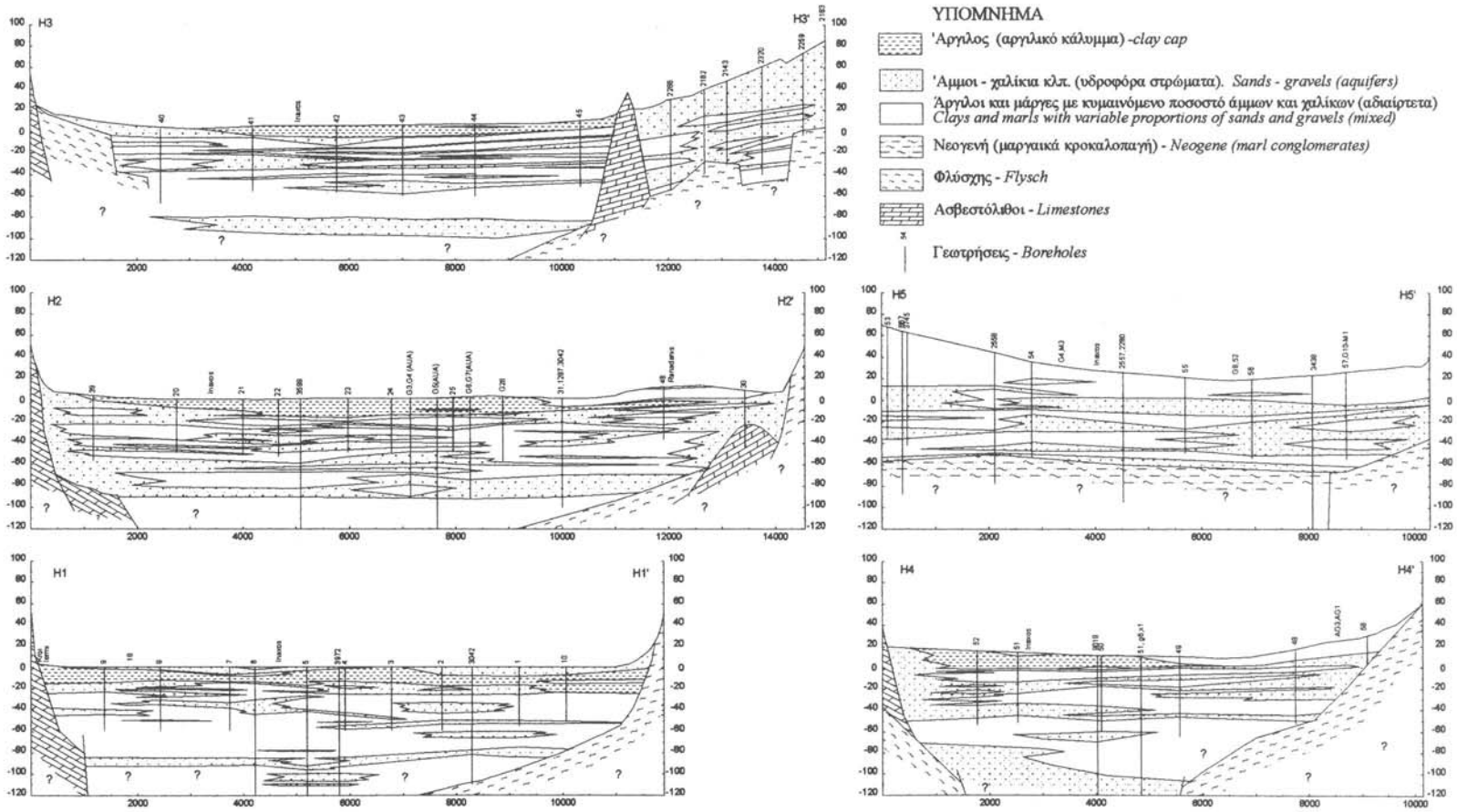
Figure 1 A simplified hydrolithological map of the Plain of Argos. Positions of boreholes and hydrostratigraphic sections (see Figs 2, 3)

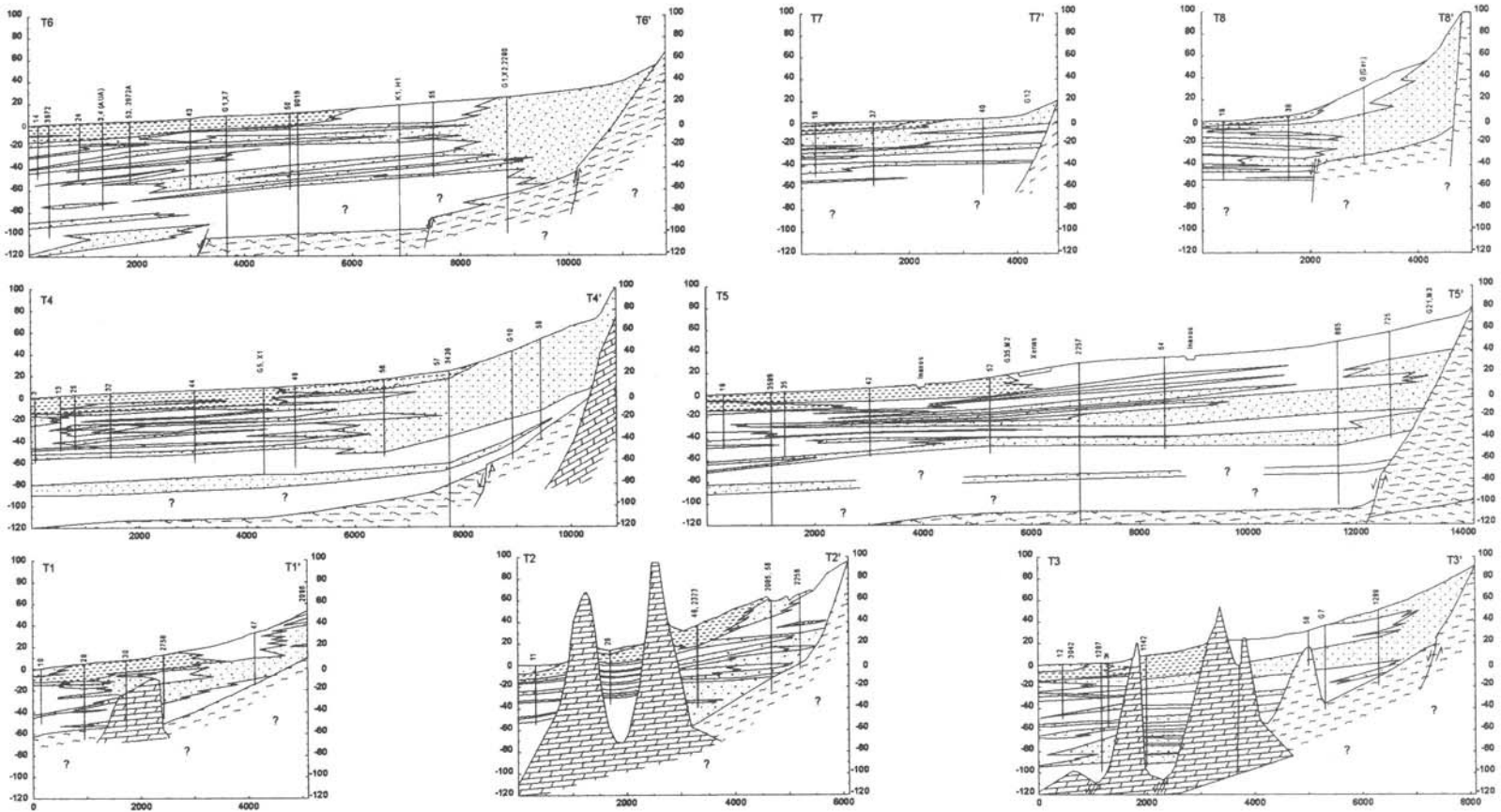
τισμού που ανορύχθηκαν το 1994 κατά μήκος της διώρυγας Κιβερίου (βλ. Σχήμα 1). Επίσης αξιολογήθηκαν πληροφορίες γεωτρυπανιστών, που αφορούσαν σε 55 γεωτρήσεις, που έχουν ανορυχθεί σε διάφορα σημεία της πεδιάδας. Έτσι η όλη στρωματογραφική εικόνα που περιγράφεται στη συνέχεια βασίστηκε συνολικά σε 150 γεωλογικές τομές γεωτρήσεων και πληροφορίες γεωτρυπανιστών για 55 επιπλέον θέσεις γεωτρήσεων. Οι ακριβείς θέσεις όλων των γεωτρήσεων αυτών όπως προέκυψαν από την απογραφή τους, καθώς και σχετικά πληροφοριακά στοιχεία γεωτρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 1 (Γιαννουλόπουλος 2000).

3. ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

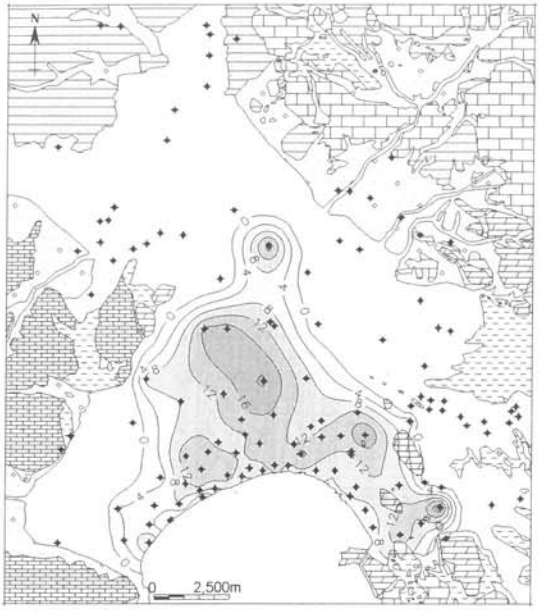
Στα πλαίσια της λιθοστρωματογραφικής έρευνας έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της θέσης των υδροφόρων σχηματισμών στο χώρο. Προσδιορίστηκε η οροφή και η βάση των επαλλήλων υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται στα μεταλπικά ιζήματα της πεδιάδας, καθώς και τα όρια των επιμέρους υδροφόρων σχηματισμών. Από τη σύνθεση όλων των παραπάνω διαθέσιμων στρωματογραφικών στοιχείων, συντάχτηκαν 13 λιθοστρωματογραφικές τομές που καλύπτουν όλη την έκταση του Αργολικού πεδίου. Σχεδιάστηκαν αρχικά σε κλίμακα 1:5.000 (οριζόντια) και 1:250 (κατακόρυφη) και υπολογίστηκε ότι αντιστοιχούν σε αθροιστικό μήκος 126.95km. Οι τομές αυτές παρουσιάζονται στα Σχήματα 2 και 3, ενώ οι θέσεις τους στην πεδιάδα φαίνονται στο Σχήμα 1. Στη σύνταξή τους δόθηκε σημαντική βαρύτητα στο διαχωρισμό αδρομερών και λεπτομερών ιζημάτων έτσι ώστε, σε συνδυασμό με τα λοιπά περιγραφικά στοιχεία, να διακριθούν καλύτερα οι υδροφόροι σχηματισμοί από τους αργιλικούς ορίζοντες καθώς επίσης και ο ρόλος των υπόλοιπων πολυμίκτων ιζημάτων. Χαρακτηριστικοί ορίζοντες οδηγοί στη στρωματογραφική συσχέτιση ήσαν οι διάφοροι ορίζοντες τύρφης, το χρώμα και η σύσταση των αργιλικών ιζημάτων, καθώς και η στρωματογραφική ακολουθία και επαλληλία των διαφόρων ιζηματογενών σειρών.

Σχήμα 2. Λιθοστρωματογραφικές τομές Αργολικού πεδίου γενικής διεύθυνσης Β-Ν (βλ. Σχήμα 1)
Figure 2 Hydrostratigraphic sections of the alluvial sediments, N-S oriented (see Figure 1)

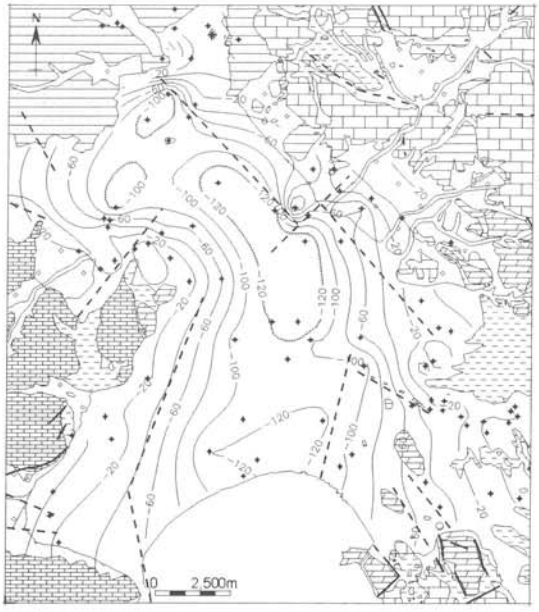




Σχήμα 3 Λιθοστρωματογραφικές τομές Αργολικού πεδίου γενικής διεύθυνσης Α-Δ (βλ. Σχήμα 1)
Figure 3 Hydrostratigraphic sections of the alluvial sediments, E-W oriented (see Figure 1)



Σχήμα 4 Πάχος (m) και όρια αργιλικού καλύμματος
Figure 4 Thickness (m) and regional distribution of the clay cap



Σχήμα 5 Ισοϋψείς καμπύλες του αδιαπέρατου υπόβαθρου.
Figure 5 Contours of the aquifers' impermeable base.

Όπως αναφέρθηκε, η εκμετάλλευση των υδροφόρων σχηματισμών έχει επεκταθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες σε βάθη μεγαλύτερα από 60 m (αναζητάται νερό σε βάθη μέχρι και 300 - 400 m). Στα βάθη αυτά, στην παράκτια ζώνη, τα δεδομένα από βαθιές γεωτρήσεις είναι αρκετά περιορισμένα. Οι βαθύτερες γεωτρήσεις με γνωστές τομές στην παράκτια ζώνη είναι η 5η ερευνητική στο μέσο της παράκτια ζώνης (βάθους 300 m), δύο ερευνητικές γεωτρήσεις της Νέας Κίου (βάθους 150) και μια ακόμη στην περιοχή της Τίρυνθας βάθους 150 m. Από την 5η ερευνητική γεώτρηση προέκυψε ότι μέχρι το βάθος των 300 m απαντούν διάφορα υδροφόρα στρώματα αλλά αυτά που βρίσκονται σε βάθη μεγαλύτερα από 120 m δεν έχουν αξιόλογη υδροφορία. Από τις λιθολογικές περιγραφές των παραπάνω γεωτρήσεων, προκύπτει ότι στην κεντρική και νότια περιοχή του Αργολικού πεδίου σε βάθη μεγαλύτερα των 60 m υπάρχει μια επαλληλία υδροφόρων στρωμάτων που εναλλάσσονται με αργιλικά στρώματα μέχρι το βάθος των 120 m κάτω από το οποίο κυριαρχεί ένα εκτεταμένο στρώμα αργιλωδών ιζημάτων.

Εκτός από τη δομή και τη σύσταση των υδροφόρων σχηματισμών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χωρική τους κατανομή και ιδιαίτερα η θέση της βάσης και της οροφής των παραπάνω επαλλήλων υδροφόρων σχηματισμών. Σε ότι αφορά στη σύστασή τους, οι υδροφόροι σχηματισμοί αποτελούνται από ποικίλα κλαστικά υλικά τα οποία διακρίνονται[1] σε χάλικες, χαλικοπαγή – κροκαλοπαγή, ασβεστολιθικά συγκρίματα, αμμο, κροκάλες, ψαμμίτες – ψηφιδοπαγή, ψηφίδες, κοραλλιογενείς ορίζοντες, τράπεζες ελεσματοβραγχίων και κώνους κορημάτων.

Ως *οροφή* μπορεί να θεωρηθεί το αργιλικό κάλυμμα που απαντά στην κεντρική και νότια ζώνη της πεδιάδας (βλ. Σχ. 2, 3, 4). Ο Α. Γαλέος, το 1967, μετά από τη λεπτομερή επεξεργασία των δεδομένων των ερευνητικών γεωτρήσεων[1], συμπεραίνει ότι "*...το μεγαλύτερο τμήμα του Αργολικού πεδίου καλύπτεται επιφανειακώς υπό στρώματος σημαντικού πάχους εξ αδιαπέρατου μαργαϊκής αργίλου...*" ενώ, "*... τα υδροφόρα στρώματα λαμβάνουν την πλήρη ανάπτυξη αυτών μετά τα 15 m βάθος περίπου*". Το στρώμα αυτό της ερυθράς μαργαϊκής αργίλου, σε σχέση με το τελικό βάθος διάτρησης των σύγχρονων υδρογεωτρήσεων, μπορεί να χαρακτηριστεί ως επιφανειακό και μπορεί να οριοθετηθεί με σχετικά καλή ακρίβεια γιατί στα βάθη που εκτείνεται (0-20 m) υπάρχουν πληροφορίες υψηλής αξιοπιστίας, από όλες σχεδόν τις διαθέσιμες τομές γεωτρήσεων. Από την επεξεργασία όλων των τομών των γεωτρήσεων προέκυψαν τα όρια και η γεωμετρία του καλύμματος αυτού και παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.

1 Μελέτη επί των (αλλουβιακών) αποθέσεων του Αργολικού πεδίου δια την εύρεσιν της συμπεριφοράς και της χωρητικότητας των υδροφόρων αυτού. Υπουργείο Γεωργίας, ΥΕΒ.. Υπό Α. Γαλέου, Αθήνα 1967.

Υπόβαθρο των υδροφόρων σχηματισμών είναι κυρίως ο φλύσχης της ενότητας της Πίνδου - Πελαγονικής, τα Πλειοκαινικά κροκαλοπαγή και σε μερικά σημεία οι μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι της Υποπελαγονικής οι οποίοι στις περισσότερες περιπτώσεις εδράζονται ή παρεμβάλλονται στο φλύσχη λόγω επωθήσεων και εφιππεύσεων. Σε πολλές θέσεις ιδίως στον κεντρικό και νότιο τμήμα της πεδιάδας, ο φλύσχης απαντά σε μεγάλο βάθος ή απουσιάζει παντελώς.

Στις θέσεις αυτές ως αδιαπέρατο υπόβαθρο θεωρούνται τα εκτεταμένα αργιλώδη ιζήματα Ο Μεσοζωικός ασβεστόλιθος εμφανίζεται επιφανειακά στους λόφους της Τίρυνθας ενώ έχει επίσης απαντηθεί και στις γεωτρήσεις με ΑΜ[2] 2163, 2683, 2757, 2807, 3042, 4120 (του ΥΠ.ΓΕ) καθώς και στην ερευνητική γεώτρηση (*Δέσμη*) με αριθ. 30 (βλ. Σχήμα 1). Φυσικά, σε ότι αφορά στο υπόβαθρο της πεδιάδας οι πληροφορίες είναι περιορισμένες και εντοπίζονται κυρίως στα ανατολικά της περιθώρια. Για το λόγο αυτό εκτός από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις συνεκτιμήθηκαν και διασταυρώθηκαν πληροφορίες που προέκυψαν από συνεντεύξεις με γεωτρυπανιστές της περιοχής. Η μορφή του αδιαπέρατου υπόβαθρου όπως προέκυψε από την επεξεργασία όλων των παραπάνω στοιχείων παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνθέτοντας όλα τα διαθέσιμα στοιχεία που αναλύθηκαν προηγούμενα, προκύπτει ότι στο Αργολικό πεδίο αναπτύσσονται επάλληλοι υδροφόροι σχηματισμοί στους οποίους παρεμβάλλονται αργιλικά και αργιλώδη ιζήματα. Σε γενικές γραμμές οι υδροφόροι σχηματισμοί που διακρίνονται είναι:

Φρεάτιος υδροφόρος: αναπτύσσεται σε μια στενή λωρίδα κατά μήκος της παραλιακής ζώνης από την ακτή μέχρι και 200-300 m προς την πεδιάδα (Σχήματα 2,3) και εκτείνεται από το Ναύπλιο μέχρι το μέσο περίπου των ακτών του Αργολικού κόλπου. Συνίσταται κυρίως από λεπτόκοκκες άμμους με ποικίλη συμμετοχή αργιλικών υλικών. Το μέγιστο βάθος στην παράκτια ζώνη φτάνει τα 7-8m και αναπτύσσεται πάνω από το αργιλικό κάλυμμα. Η διάκριση του φρεατίου αυτού υδροφόρου από τη χαλαρή επιφανειακή αργιλική εδαφική στρώση πάχους 2-3m, που περιγράφεται συνήθως σε γεωλογικές τομές γεωτρήσεων και ως "*φυτική γη*" δεν είναι πολλές φορές σαφής. Συνεπώς είναι ασφαλέστερο ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή αυτή να περιγράφεται ως "*ζώνη εδαφικού νερού*" αφού δεν αποδίδει εκμεταλλεύσιμες ποσότητες νερού για να χαρακτηριστεί με την κλασική έννοια ως υδροφόρος σχηματισμός.

Ο αριθμός των επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων που ακολουθούν κάτω από το πρακτικά αδιαπέρατο αργιλικό κάλυμμα μέχρι το υπόβαθρο των υδροφόρων σχηματισμών ποικίλει από θέση σε θέση (βλ. Σχήμα 2,3). Οι ερευνητικές γεωτρήσεις της περιόδου 1962-64 συνάντησαν από 2 έως 5 υδροφόρα στρώματα μέχρι το βάθος των 60 m. Άλλοτε σχηματίζουν διακριτά υδροφόρα στρώματα ενώ σε μερικές περιπτώσεις αποτελούν ένα πολύπλοκο δίκτυο, που έχει διαμορφωθεί από τις εκάστοτε συνθήκες ιζηματογένεσης. Σε γενικές γραμμές, ο αριθμός τους μειώνεται από την παραλία προς το εσωτερικό της πεδιάδας, ενώ προς τα περιθώρια της πεδιάδας σταδιακά ενοποιούνται σε ένα ελεύθερο υδροφόρο. Το συγκεκριμένο υδροστρωματογραφικό μοντέλο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως τύπου *Piedmont* (βλ. Mandel and Shiftan, 1981). Στο νότιο τμήμα, στην παράκτια ζώνη, σε βάθος 15-20m αναπτύσσεται το πρώτο υδροφόρο στρώμα πάχους 5 έως 15m το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά συγκρίματα. Εκτείνεται 3 km περίπου στη χέρσο και αποτελεί γενικά τον ανώτερο υδροφόρο. Υπόκειται εναλλαγές αδρομερών κλαστικών υλικών (άμμοι, χαλίκια) με αργιλικά ιζήματα τα οποία θα μπορούσε να λεχτεί ότι στο σύνολό τους αποτελούν ένα δεύτερο υδροφόρο σχηματισμό η μέγιστη ανάπτυξη του οποίου κυμαίνεται σε βάθη από 40 έως 60m περίπου Μια ακόμη επαλληλία υδροφόρων στρωμάτων που εναλλάσσονται με καστανή άργιλο και μάργα, αναπτύσσεται σε βάθη από *80-90* m και *100-112* m.

Η σαφής αυτή γεωλογική δομή με τους διακριτούς υδροφόρους που περιγράφηκαν δεν εκτείνεται σε όλο το Αργολικό πεδίο, αλλά κυρίως στην παράκτια ζώνη και σε απόσταση 3-7 km περίπου από την ακτή. Βορειότερα, οι τρεις αυτοί υδροφόροι τείνουν να ενοποιηθούν. Σε περιοχές όπου παρεμβάλλονται εκτεταμένα αργιλικά στρώματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως υπό πίεση, αλλά εκεί όπου επικρατούν αδρομερέστερα υλικά χαρακτηρίζονται ως μερικώς υπό πίεση έως ελεύθεροι. Συμβατικά μπορούμε να δεχτούμε ότι η ανάπτυξη των υπό πίεση υδροφόρων εκτείνεται μέχρι τα όρια του αργιλικού καλύμματος (βλ. Σχήμα 2, 3) όπου σταδιακά αντικαθίστανται από ελεύθερους.

Οι ελεύθεροι υδροφόροι εκτείνονται στη ζώνη μεταξύ των ορίων του αργιλικού καλύμματος και των περιθωρίων της πεδιάδας όπου αναπτύσσονται αλπικοί σχηματισμοί. Η βάση τους είναι ο φλύσχης ή εκτεταμένα αργιλικά στρώματα (Σχ. 5) και η οροφή τους προσεγγίζεται από τις ανώτερες διακυμάνσεις της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού.

2 Οι Α.Μ. που αναφέρονται είναι αυτοί που ορίστηκαν από την Υ.Ε.Β του ΥΠ.ΓΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ANDERSON M.P. AND WOESSNER W.W. 1992. Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press. 381 σελ.

ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Π. 2000. Υπόγεια Υδραυλική και Μαθηματικά Μοντέλα στο Αργολικό Πεδίο. Διδακτορική διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. 362 σελ.

DERCOURT J. 1964. Γεωλογική μελέτη της περιοχής μεταξύ των πεδίων Αργολικού και Τριπόλεως. ΙΓΕΥ τομ. VII, No 3, σελ. 77-103.

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ Δ, ΚΑΙ ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΥ – ΖΑΜΑΝΗ Α. 1970. Γεωλογικαί και φυσιογραφικαί έρευναι επί του Αργολικού πεδίου. Annales Geologiques des Pays Helleniques, Vol 22, σελ 269-294

MANDEL S. AND SHIFTAN L.Z. 1981. Groundwater Resources. Investigation and Development. Water Pollution, A series of Monographs. Academic Press. 269 óåë.

ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ Ι., Δ. ΒΕΤΟΥΛΗ Α. ΤΑΤΑΡΗΣ, Γ. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Ι. ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ν. ΛΑΛΕΧΟΣ ΚΑΙ Γ. ΚΟΥΝΗΣ 1970. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Άργος, κλ. 1:50.000. ΙΓΕΥ.

PHILIPSON A. 1891. Der Peloponnes,. Berlin, 642pp.

ΤΑΤΑΡΗΣ Α., Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ ΚΑΙ Δ. ΚΟΥΝΗΣ 1964. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Ναύπλιο, κλ. 1:50.000. ΙΓΜΕ

ΤΑΤΑΡΗΣ Α. ΚΑΙ Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΣΗ 1965. Η γεωλογική δομή του ορεινού όγκου Τραπεζώνας - Αραχναίου και της περιοχής Ναυπλίου – Λυγουριού (ΒΑ Πελοπόννησος) ΙΓΕΥ, Τόμος IX, No 6, σ. 195-220.

ΤΡΙΚΑΛΙΝΟΣ Ι. 1968. Συμβολή εις την εξέτασιν της τεκτονικής δομής ης Ελλάδος. Τεκτονικαί έρευναι εις την περιοχή του Ναυπλίου. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 37, σ. 223-231.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1801-1809, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1801-1809, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ Ν. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑΣ (ΛΕΚΑΝΗ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ, ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)*

Γ. ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ[1], Α. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ[1], Μ. ΦΥΤΙΚΑΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Από δοκιμαστικές αντλήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε γεωτρήσεις που ανοίχθηκαν στην περιοχή των θερμών πηγών Ν. Απολλωνίας διαπιστώθηκε ότι τα γεωθερμικά νερά των γεωτρήσεων όπως και της θερμής πηγής, είναι του τύπου Na-SO_4HCO_3. Ο χημισμός παραμένει σταθερός με την μεταβαλλόμενη παροχή άντλησης (Q) και με τον χρόνο (t), δείχνοντας την υδραυλική ανεξαρτησία του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Παρατηρείται μικρή έκλυση αερίων, στα οποία κυριαρχεί το N_2. Η παρουσία H_2S, κατά θέσεις, είναι αποτέλεσμα βιοχημικών διαδικασιών από οργανικά υπολείμματα.

ABSTRACT

From the pumping tests in wells Γ5 and Γ6 drilled in the area of Nea Apollonia thermal springs, it was found out that the geothermal waters are classified as Na-SO_4HCO_3 type like the ones from the spring. The F^- content of the waters is high and it ranges from 8.7 to 11.2 mg/l. The chemical composition is independent of pumping rate and duration of pumping. This behaviour is the result of the independence of the geothermal reservoir. Poor release of gas mainly N_2 has been ascertained. The presence of H_2S in some sites is the result of biochemical processes of organic remnants.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδροθερμικός υδροφορέας, Νέα Απολλωνία, H_2S, N_2
KEY WORDS: Hydrothermal aquifer, Nea Apollonia, H_2S, N_2

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία αξιολογούνται τα αποτελέσματα ερευνητικού προγράμματος που έγινε για να διαπιστωθούν, εκτός των άλλων, τα υδροχημικά χαρακτηριστικά του θερμού υδροφορέα της περιοχής της πηγής της Νέας Απολλωνίας και να διερευνηθούν ενδεχόμενες μεταβολές τους με την πάροδο του χρόνου και η τυχόν επίδραση της παρακείμενης λίμνης Βόλβης στη χημική σύσταση των θερμών νερών.

Στην περιοχή υπήρχε η αναγνωρισμένη ιαματική πηγή Ν. Απολλωνίας (Λουτρά Βόλ-βης) θερμοκρασίας 48-50°C, η οποία τα τελευταία χρόνια έπαψε να βγαίνει στην επιφάνεια και η ανάβλυση περιορίζονταν στον πυθμένα φρεατίου βάθους 3 m περίπου. Η στάθμη των θερμών νερών παρουσίασε πρόσφατα σημαντική ταπείνωση, κάτω από τον πυθμένα του φρεατίου, με αποτέλεσμα την εξαφάνιση και της ανάβλυσης αυτής. Η ταπείνωση φαίνεται ότι οφείλεται στην υποχώρηση της στάθμης της παρακείμενης λίμνης Βόλβης.

Στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος έγιναν 3 γεωτρήσεις στην περιοχή των πηγών: Μία ερευνητική γεώτρηση (Γ5Ε), βάθους 27 m και μικρής σχετικά διαμέτρου, ανοίχθηκε δίπλα στο χώρο του φρεατίου για να διαπιστωθούν οι υδρογεω-λογικές συνθήκες στον χώρο των κύριων πηγών. Δύο ακόμη ερευνητικές - παραγωγικές γεωθερμικές γεωτρήσεις: η Γ5 βάθους 40 m έγινε σε απόσταση 1 m από το φρεάτιο των πηγών και η Γ6 βάθους 37 m σε απόσταση 70 m ανατολικά της Γ5.

Εκτός από τις γεωτρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη και 3 υπάρχου-σες γεωτρήσεις: η Γ1 σε απόσταση 53.3 m Δ της Γ5, η Γ2 σε απόσταση 124.3 m ΔΝΔ της Γ5 και η Γ8 σε απόσταση 255.5 m ΑΝΑ της Γ5 και 207.6 m ΑΝΑ της Γ6. Τέλος, η πηγή Π-3 βρίσκεται σε απόσταση 41.9 m Β της Γ5 και σε κατώτερο τοπογραφικά σημείο, δίπλα στις ακτές της λίμνης.

---

* HYDROCHEMICAL BEHAVIOUR AND CHARACTERISTICS OF HYDROTHERMAL AQUIFER IN THE AREA OF NEA APOLLONIA THERMAL SPRINGS (MYGDONIA BASIN, MACEDONIA)

1. Τομέας Γεωλογίας & Φυσ. Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη

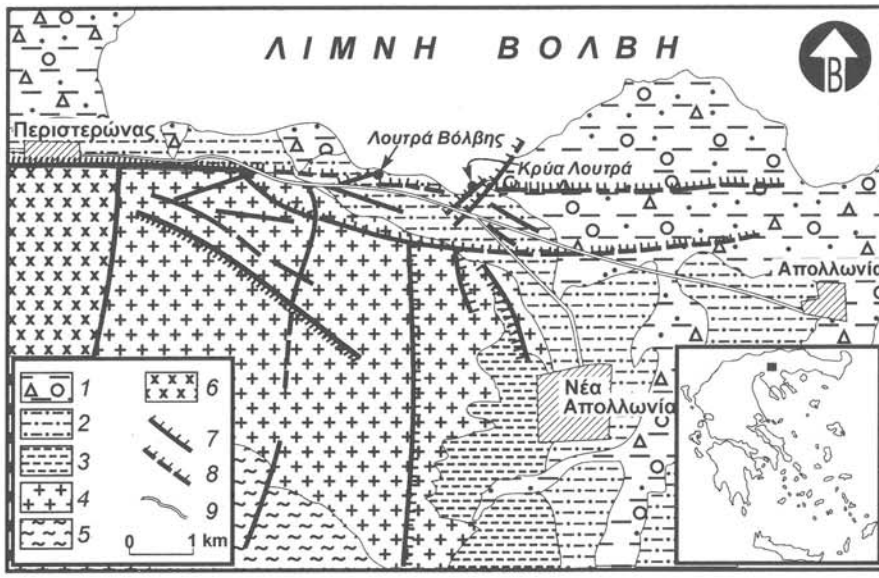
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Ν. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑΣ

Η ευρύτερη περιοχή των πηγών της Ν. Απολλωνίας εντάσσεται στο τεκτονικό βύ-θισμα της Μυγδονίας λεκάνης. Γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα και πιο συγκεκριμένα στη Σειρά Βερτίσκου. Το υπόβαθρο της περιοχής δομείται κυρίως από γνεύσιους, με ενστρώσεις χαλαζιτών και μαρμάρων, σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μεταμορφωμένα βασικά πετρώματα Παλαιοζωικής ηλικίας, ενώ 700 m ΝΔ των Λουτρών εμ-φανίζεται ο Γρανίτης της Αρναίας.

Τα Πλειστοκαινικά ιζήματα, πάνω στο υπόβαθρο, έχουν πάχος μέχρι και 130 m. Συ-νίστανται κυρίως από μεσόκοκκες - λεπτόκοκκες άμμους (αδρο-μερείς φάσεις) και λιγότερο από λεπτομερή υλικά (φακοειδείς οριζόντιες ενστρώσεις), με μικρό ποσοστό ψηφίδων και χαλίκων και ακόμη μι-κρότερο των κροκαλών που προέρχονται από τα μεταμορφωμένα πε-τρώματα και το γρανίτη. Στους Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς αναπτύσσονται θερμοί υδροφόροι ορίζοντες που εναλλάσσονται με λεπτά στρώματα αδιαπέρατης πράσινης αργίλου.

Στις θέσεις των θερμών αναβλύσεων και στην ευρύτερη περιοχή συναντώνται τραβερτινικές αποθέσεις πάχους 0.5-8.0 m, που παρεμβάλλονται στα Πλειστοκαινικά ιζήματα ή υπέρκεινται αυτών.

Στην περιοχή των πηγών εμφανίζονται ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ, ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ. Στη θέση όπου διασταυρώνονται τα κανονικά ρήγματα Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ τοποθετείται η γένεση της θερμής πηγής των Λουτρών της Νέας Απολλωνίας.



Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής των Λου-τρών Ν. Απολλωνίας (Φυτίκας κ.ά., 1997).
Fig.1. Geological map of the wider area of Nea Apollonia baths (Fytikas et al., 1997).

1.Αλλουβιακές αποθέσεις, ριπίδια προσχώσεων, αποθέσεις χειμάρρων και σύγχρονα λιμναία ιζήματα, 2.Μυγδονιακό σύ-στημα Μ-Α. Πλειστόκαινου, 3.Προμυγδονιακό σύστημα ιζημά-των (ερυθρές άργιλοι, ερυθροστρώματα) (Κ.Πλειστόκαινο), 4.Γρανίτης Αρναίας, 5.Παλαιοζωικοί σχιστόλιθοι, 6.Γνεύ-σιοι και αμφιβολίτες Παλαιοζωικού, 7.Ρήγματα ορατά, 8.Ρήγματα πιθανά, 9. Οδικό δίκτυο

3. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΙΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ Ν. ΑΠΟΛΛΩΝΙΑΣ

Στον Πίν.1 δίνονται τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα θερμά νερά της ιαματικής πηγής των λουτρών Ν. Απολλωνίας σε διάφορα έτη, στο διάστημα που υπήρχε ακόμη η επιφανειακή ανάβλυση των πηγών. Διαπιστώνεται ο σχετικά σταθερός χημισμός τους στο χρόνο.

α. Μεθοδολογία Έρευνας

Προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν επιδράσεις των νερών της λίμνης στη χημική σύσταση των νερών των γεωτρήσεων κατά την άντληση και λειτουργία των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 αλλά και ενδεχόμενες φυσικές

μεταβολές τους, οργανώθηκε ειδική δειγματοληψία νερού σε διάφορα στάδια άντλησης:

α) Πριν από την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης της γεώτρησης Γ5: Από τη λίμνη, την πηγή Π-3 και τις γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ6 και Γ8.

β) Μετά από 30΄ δοκιμαστική άντληση: Στις γεωτρήσεις Γ1 και Γ2.

γ) Κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων στη γεώτρηση Γ5 :

- κατά την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης (2/1/1997) με παροχή 40 m^3/h.
- κατά το τέλος της δοκιμαστικής άντλησης (2/1/1997) με παροχές 40, 72, 118 και 140 m^3/h.
- κατά την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης (3/1/1997) με παροχή 130 m^3/h
- μετά από 15 ώρες δοκιμαστικής άντλησης (3/1/1997) με παροχή 130 m^3/h
- μετά από 36 ώρες (τέλος) δοκιμαστικής άντλησης με παροχή 130 m^3/h

δ) Κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων στη γεώτρηση Γ6 :

- κατά την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης (10-11/1/1997) με παροχές 34, 95 και 120 m^3/h
- κατά την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης (11/1/1997) με παροχή 158.5 m^3/h
- μετά από 15 ώρες δοκιμαστικής άντλησης (11/1/1997) με παροχή 158.5 m^3/h
- μετά από 24 ώρες (τέλος) δοκιμαστικής άντλησης με παροχή 158.5 m^3/h

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στους Πιν. 2 και 3.

Προσδιορίσθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία, ακόμη και μερικά ιχνοστοιχεία, για να υπάρξει πλήρης εικόνα της ποιότητας του νερού σε συνθήκες άντλησης – εκμετάλλευσης. Η τυχόν μεταβολή κάποιων στοιχείων, από τα κύρια ή τα δευτερεύοντα, θα μπορούσαν να αποτελούν ενδείξεις μεταβολών που αποδίδονται στη συμπεριφορά των υδροφόρων και του ενδεχόμενου επηρεασμού τους από τη λίμνη ή από άλλους παράγοντες (π.χ. την ανθρώπινη δραστηριότητα).

Στον Πίν. 2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των δειγμά-των των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ6, Γ8, της πηγής Π3 καθώς και της λίμνης πριν από την έναρξη των δοκιμαστικών αντλήσεων. Στον Πίν. 3 παρατίθενται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του νερού των παραγωγικών – γεωθερμικών γεωτρήσεων Γ5 και Γ6.

Πιν. 1. Χημικές αναλύσεις από την πηγή Λουτρών σε διάφορα έτη.
Table 1. Chemical analyses from the main spring of baths at various years.

	Χαριτάντης, 14/6/1933 (ΕΟΤ, 1966)	1/9/1977 Ι.Γ.Μ.Ε. (Σπυρόπουλος & Σπυρίδης, 1990)	3/6/1981 Ι.Γ.Μ.Ε. (Σπυρόπουλος & Σπυρίδης, 1990)	12/7/1984 (Σπυρόπουλος & Σπυρίδης, 1990)	Σεπτ.1990 (Vatseris, 1992)	Πουτούκης & Ντότσικα, 1994
T (oC)	50.4	50.2	51.0	49.2	46.0	46.0
Αγωγιμότητα	....	1570	1650	1540	1226	2070
pH	7.50	7.85	7.65	7.70	7.87	7.80
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (mg/l)						
Na+	297.50	278.30	278.30	292.00	277.10	339.00
K+	8.30	8.99	10.16	7.30	7.51	7.00
Ca2+	21.50	20.04	20.44	16.70	18.90	11.50
Mg2+	3.60	2.43	1.70	1.90	1.95	6.00
Fe2+	0.22	....	0.09	0.00	0.04	....
Mn2+	0.008	....	....	0.00	0.00	....
Li+	0.075	....	0.19	0.11	0.08	....
Sr2+	....	....	0.56	0.94	0.81	....
NH4+	1.20	0.01	0.20	....	0.20	....
CI-	39.20	42.55	40.77	71.90	40.98	34.00
HCO3-	381.00	329.40	331.94	339.00	365.95	336.00
CO32-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-	....	....	12.00	9.80	8.20	....
SO42-	333.10	329.50	354.48	254.57	303.55	362.00
NO3-	....	8.68	0.00	....	0.19	0.20
SiO2	....	43.00	37.00	38.00	39.40	39.10

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων πάνω στο διάγραμμα Piper (τριγραμμικό - trilinear) και την ταξινόμηση κατά Davis & De Wiest (1966) προέκυψε ότι :

(α) Όλα τα νερά των γεωτρήσεων και της πηγής Π3, πλην του νερού της λίμνης, ανή-κουν στον ίδιο τύπο νερού. Πρόκειται για Na-SO_4HCO_3 γεωθερμικά νερά.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων πριν τις δοκιμαστικές αντλήσεις.
Table 2. The results of chemical analyses before pumping tests.

	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΗΣΕΩΝ ΣΤΗ Γ5						30΄	30΄
	ΛΙΜΝΗ	Γεώτρηση Γ-1 (από ~10m)	Γεώτρηση Γ-2 (από ~3m)	Πηγή Π-3	Γεώτρηση Γ-6 (από ~10m)	Γεώτρηση Γ-8	ΑΝΤΛΗΣΗ στη Γ-1	ΑΝΤΛΗΣΗ στη Γ-2
ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ								
T (oC)	9.4	38.5	35.0	34.5	49	39.5	43.9	43.0
Αγωγιμότητα	1030	1160	1000	1450	1350	1230	1180	1080
pH	8.60	8.55	7.85	7.55	8.00	7.95	7.75	7.70
TDS (mg/l)	610	770	650	990	910	840	790	740
Αλκαλικ. P	0.30	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αλκαλικ. M	5.40	5.05	4.70	5.90	5.90	5.75	5.85	5.15
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (mg/l)								
Na+	167.80	241.10	194.40	277.80	291.10	277.80	247.80	232.50
K+	6.70	7.50	5.40	8.60	7.90	7.00	7.60	5.70
Ca2+	22.20	20.00	24.80	54.00	20.80	13.70	22.10	22.30
Mg2+	29.50	2.90	1.40	5.50	1.90	1.30	2.90	1.20
Fe2+	0.27	2.90	1.90	0.16	0.59	0.11	0.16	0.48
Zn2+	0.00	0.37	0.19	0.00	0.63	0.02	0.02	0.07
Mn2+	0.04	0.13	0.09	0.07	0.08	0.05	0.04	0.07
Li+	0.00	0.10	0.006	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08
Sr2+	0.33	0.76	0.53	0.67	0.14	0.60	0.78	0.55
NH4+	0.00	1.80	0.15	0.05	0.70	0.60	1.10	0.55
CI-	131.40	37.30	42.60	41.90	35.50	36.20	40.80	42.60
HCO3-	329.40	308.10	286.70	359.90	359.90	350.80	356.80	314.20
CO32-	9.00	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-	2.40	9.50	9.00	10.40	11.50	10.70	8.70	9.50
SO42-	66.40	240.60	172.50	375.50	318.50	276.50	237.60	224.60
PO43-	0.12	0.05	0.04	0.14	0.12	0.00	0.00	0.00
NO3-	2.00	1.30	1.20	1.40	1.20	1.20	1.00	1.00
NO2-	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Br-	0.70	0.00	0.44	0.50	0.47	0.56	0.00	0.50
SiO2	5.00	38.50	48.50	31.40	42.10	36.40	42.10	44.20
B	0.32	1.05	0.69	1.12	1.13	1.11	0.93	0.89

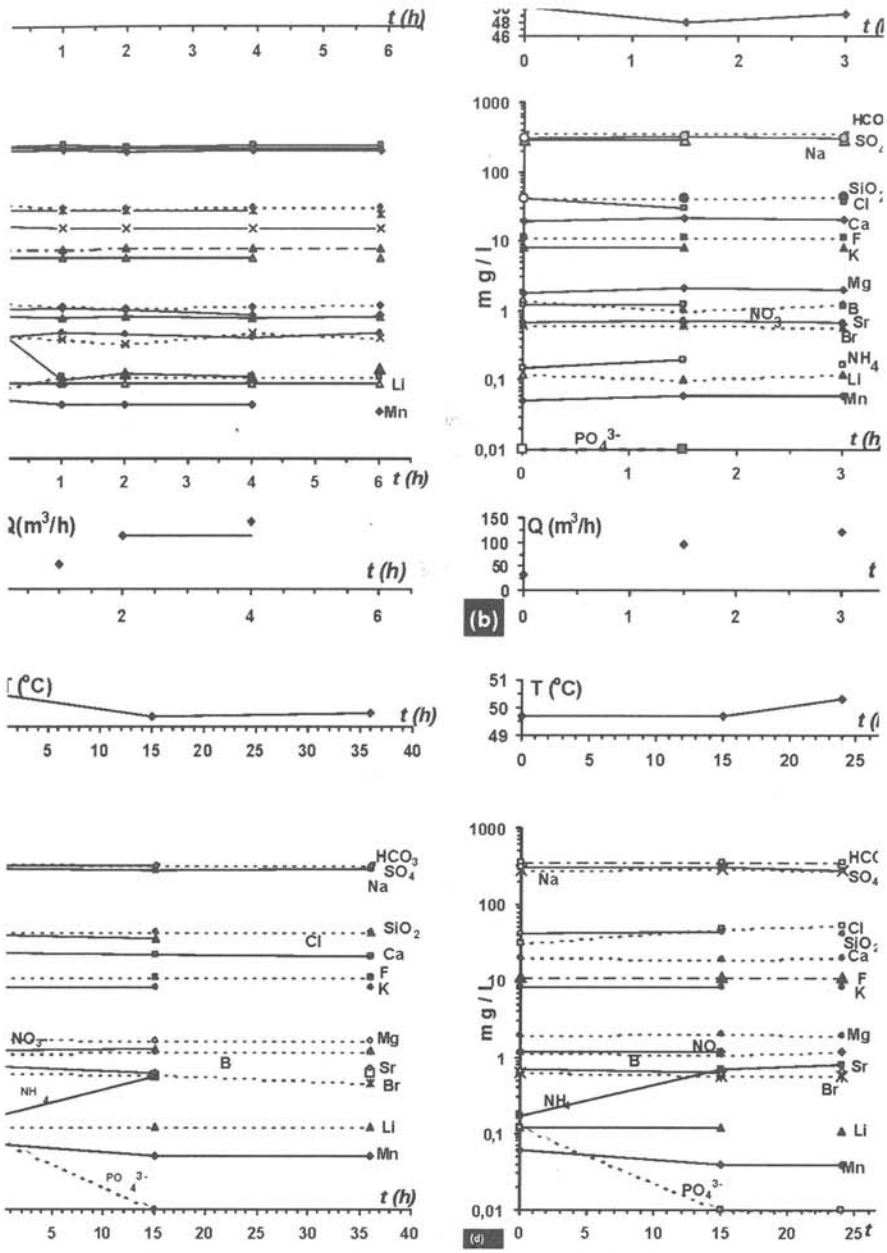
(β) Το νερό της λίμνης έχει διαφορετική σύσταση και τοποθετείται στην κατηγορία των Na-HCO_3CI νερών με προσέγγιση προς το πεδίο των Na,Mg-HCO_3CI-SO_4 νερών.

(γ) Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων της παραγωγικής γεώτρησης Γ5 ο τύπος των νερών της παρέμεινε αμετάβλητος (Na-SO_4HCO_3) και μάλιστα οι θέσεις τους, προβαλλόμενες πάνω στο τριγωνικό διάγραμμα πέφτουν στο ίδιο σχεδόν σημείο (βλ. και Σχ. 3).

(δ) Ο τύπος των νερών της γεωθερμικής γεώτρησης Γ6 παρέμεινε αμετάβλητος (Na-SO_4HCO_3) καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων (βλ. και σχ. 3).

	ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ5								ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ6					
	Εναρξη άντλησης 40m3/h	Λήξη άντλησης 40m3/h	Λήξη άντλησης 72m3/h	Λήξη άντλησης 118m3/h	Λήξη άντλησης 140 m3/h	Εναρξη άντλησης 130 m3/h	15 h άντλησης 130 m3/h	Λήξη (36h) άντλησης 130 m3/h	Εναρξη άντλησης 34 m3/h	Εναρξη άντλησης 95 m3/h	Εναρξη άντλησης 120 m3/h	Εναρξη άντλησης 158.5 m3/h	15 h άντλησης 158.5 m3/h	Λήξη (24h) άντλησης 158.5 m3/h
ΦΥΣΙΚΟ-ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ														
T (oC)	55.3	55.3	55.3	55.1	55.7	57.3(?)	53.6	54.2	50.0	48.0	49.1	49.7	49.7	50.3
Αγωγιμότητα	1320	1350	1350	1380	1380	1320	1300	1310	1320	1340	1320	1320	1350	1320
pH	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.90	7.70	7.70	7.90	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80
TDS (mg/l)	910	930	920	940	930	910	910	910	910	910	890	890	920	910
Αλκαλικ. P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αλκαλικ. M	5.30	5.25	5.25	5.25	5.30	5.35	5.40	5.50	5.75	5.80	5.75	5.80	5.85	5.85
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (mg/l)														
Na+	284.40	293.30	291.70	298.20	293.90	287.30	285.10	287.30	285.10	287.30	282.90	285.10	293.90	285.10
K+	8.30	8.30	8.30	8.30	8.30	8.20	8.30	8.30	8.20	8.30	8.30	8.30	8.40	8.20
Ca2+	23.60	21.90	21.50	21.50	21.70	23.20	21.50	21.30	19.70	21.10	20.30	19.90	19.30	19.90
Mg2+	1.80	1.60	1.50	1.60	1.70	1.70	1.60	1.60	1.80	2.10	2.00	1.90	2.00	1.90
Fe2+	0.25	0.27	0.18	0.18	0.27	0.18	0.11	0.16	0.14	0.16	0.66	0.20	0.00	0.00
Zn2+	0.11	0.08	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.12	0.10	0.11	0.10	0.03	0.02
Mn2+	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04
Li+	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11
Sr2+	0.56	0.67	0.64	0.58	0.67	0.76	0.62	0.71	0.69	0.71	0.69	0.69	0.62	0.71
NH4+	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.55	0.60	0.15	0.20	0.17	0.17	0.70	0.80
Cl-	40.80	40.80	40.80	40.80	35.50	39.80	35.50	42.60	40.80	30.20	37.30	31.90	49.70	53.20
HCO3-	323.30	320.30	320.30	320.30	323.30	326.40	329.40	335.50	350.80	353.80	350.80	353.80	356.80	356.80
CO32-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F-	11.00	11.00	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	10.90	11.10	11.00	11.10	11.20	11.20	11.20
SO42-	330.80	347.50	342.20	352.80	352.80	333.60	328.80	320.20	304.80	324.00	304.80	313.40	304.80	283.20
PO43-	0.72	0.14	0.17	0.15	0.20	0.08	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.12	0.01	0.01
NO3-	1.40	1.50	1.40	1.20	1.20	1.20	1.30	1.20	1.40	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
NO2-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Br-	0.61	0.55	0.45	0.66	0.57	0.62	0.58	0.45	0.60	0.62	0.58	0.63	0.58	0.58
SiO2	48.50	42.80	42.10	43.80	44.20	43.50	43.80	44.20	42.10	42.10	43.50	42.10	43.50	42.10
B	1.18	1.12	1.15	1.12	1.14	1.12	1.18	1.16	1.23	1.20	1.16	1.12	1.10	1.18

Πίνακας 3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων των νερών από τις δοκιμαστικές αντλήσεις των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6.
Table 3. The results of water chemical analyses from the pumping tests in the wells Γ5 and Γ6.



Σχ.2. Διαγράμματα μεταβολής της χημικής σύστασης με το χρόνο (t) τόσο για τη δοκιμαστική άντληση με κλιμακούμενη παροχή όσο και με την άντληση με σταθερή παροχή για τις γεωτρήσεις Γ5 και Γ6 (a: κατά βαθμίδες δοκιμαστική άντληση στη Γ5, b: κατά βαθμίδες δοκιμαστική άντληση στη Γ6, c: άντληση με σταθερή παροχή στη Γ5, d: άντληση με σταθερή παροχή στη Γ6). Παράλληλα με τη μεταβολή της χημικής σύστασης με το t, παρουσιάζεται και η μεταβολή της χημικής σύστασης με της παροχής (Q) (a,c) και της θερμοκρασίας t (a,b,c,d) αντίστοιχα.

Fig.2. Diagrams with the changes of chemical compositions vs time (t) for the pumping tests at variable pumping rates and for the pumping tests at constant pumping rate for the wells Γ5 and Γ6 (a: pumping test in Γ5 at variable pumping rates, b: pumping test in Γ6 at variable rates, c: pumping test in Γ5 at a constant pumping rate, d: pumping test in Γ6 at a constant rate). Parallel to the changes of chemical composition vs t, in these diagrams we present the changes of pumping rate Q (a,c) and temperature (T) (a,b,c,d) vs time respectively.

Τα αποτελέσματα αυτά, όπως και το σχ. 2 δίνουν σαφέστατα τον αμετάβλητο χημι-κό χαρακτήρα, ακόμη και στα περιεχόμενα ιχνοστοιχεία, του γεωθερμικού νερού των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6. Επίσης επιβεβαιώθηκε η απουσία οποιασδήποτε αισθητής επίδρασης του νερού της λίμνης στον χημισμό τους. Το γεγονός αυτό θεωρούμε ότι είναι πολύ σημαντικό, αφού δείχνει τη μικρή έως ανύπαρκτη υδραυλική επικοινωνία του γεωθερμικού ταμιευτήρα με το νερό της λίμνης και επομένως την ανεξαρτησία του συστήματος. Το γεγονός αυτό ενισχύει την άποψή μας ότι οι αντλούμενες ποσότητες γεωθερμικού νερού επηρεάζεται ελάχιστα από τους ψυχρότερους δευτερογενείς ανώτερους υδροφόρους ορίζοντες και συνεπώς προέρχονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του από τον πρωτογενή γεωθερμικό ταμιευτήρα.

Επίσης, τα νερά των νέων γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 έχουν τον ίδιο χημικό χαρακτήρα με τα νερά της αναγνωρισμένης ιαματικής πηγής της Νέας Απολλωνίας.

Αυτά τα θερμά νερά παρουσιάζουν σχετικά πολύ μικρή αλατότητα (TDS ~920 mg/l) ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα εμφανίζει χαμηλές τιμές (~1350 μS/cm). Από την επεξεργασία των δειγμάτων στο εργαστήριο για τον υπολογισμό της ποσότητας των αιω-

ρούμενων σωματιδίων στα θερμά νερά των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 προέκυψαν τιμές της τάξης των 1-2 mg/l, που θεωρούνται πάρα πολύ χαμηλές και γι' αυτό πολύ ικανο-ποιητικές. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την απευθείας διάθεση των γεωθερμικών νερών στο δίκτυο μεταφοράς.

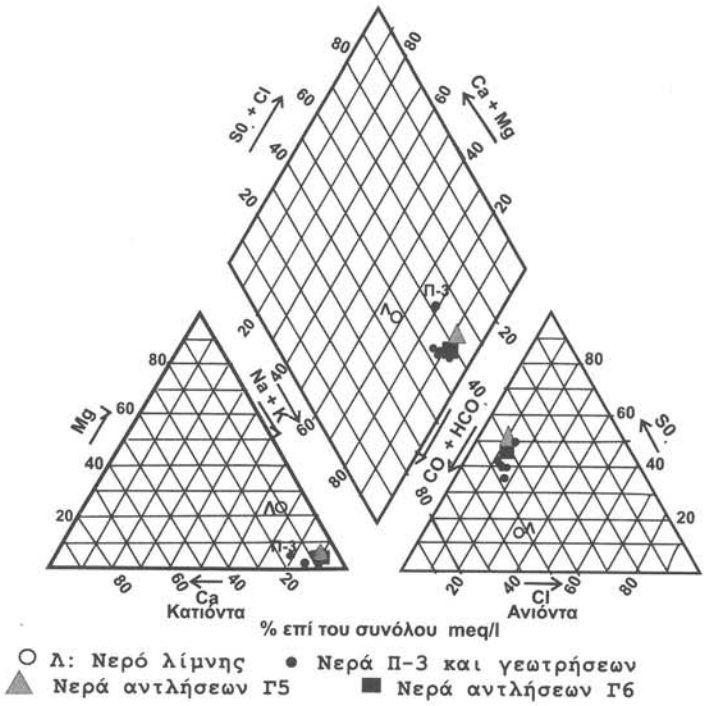
Τα SO_4^{2-} μετέχουν στη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών και οφείλονται σε διάλυση θειούχων αλάτων.

Τα νερά είναι πλούσια σε F^-, γεγονός που τα καθιστούν ακατάλληλα για πόση. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε F^- μπορεί να αποδοθεί στην υδρόλυση φθοριούχων ορυκτών (κυρίως απατίτη ή και βιοτίτη) του γρανίτη της Αρναίας και των γνευσίων του υποβάθρου μέσα από τα οποία διέρχονται τα γεωθερμικά ρευστά στις ρηξιγενείς δομές του πρωτογενούς ταμιευτήρα .

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις Na^+ μπορεί να αποδοθούν στη διαλυτοποίηση Na-ούχων πλαγιοκλάστων (αλβίτη) που αποτελεί θεμελιώδες ορυκτό συστατικό του γρανίτη της Αρναίας και των γνευσίων.

Τα ιόντα Li^+ και Sr^{2+} συμμετέχουν στη σύσταση των γεωθερμικών νερών μέσα στα φυσιολογικά, για κοινά υπόγεια νερά, όρια.

Επίσης η περιεκτικότητα των νερών τόσο σε SiO_2 όσο και σε Cl^- δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική.



Σχ.3. Απεικόνιση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε τριγραμμικό διάγραμμα κατά Piper.
Fig.3. Plot of the values of chemical analyses on a trilinear diagram according to Piper.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί η μικρή αύξηση της περιεκτικότητας των νερών σε NH_4^+ μετά την έναρξη των δοκιμαστικών αντλήσεων, τόσο με άντληση κατά βαθμίδες όσο και με σταθερή παροχή, και για τις δύο γεωτρήσεις Γ5 και Γ6. Δηλ. μετά από παρέλευση μικρού χρονικού διαστήματος από την έναρξη της άντλησης και τη λήψη του πρώτου δείγματος η συγκέντρωση NH_4^+ αυξάνει ελαφρώς απότομα και μετά σταθεροποιείται. Αυτό αποδίδεται στην άνοδο βαθύτερων γεωθερμικών νερών προς την επιφάνεια.

Κάτι αντίστοιχο αλλά με αρνητική πορεία διαπιστώνεται για τα NO_3^- και $PO4_3^-$ ιόντα, δηλ. παρατηρείται αρχικά μικρή ελάττωση της συγκέντρωσης αυτών, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην άνοδο βαθύτερων και απαλλαγμένων από οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα και ρύπο γεωθερμικών νερών.

Η εφαρμογή του θερμοδυναμικού μοντέλου WATEQ-F των Truesdell & Jones (1974) έ-δειξε ότι τα γεωθερμικά νερά της Νέας Απολλωνίας δεν παρουσιάζουν πολύ υψηλές τιμές μερικής πίεσης pCO_2. Τα νερά των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 παρουσιάζουν τιμές pCO_2 $10^{-2.0177}$ ($=9.60 \times 10^{-3}$) και $10^{-2.1239}$ ($=7.52 \times 10^{-3}$), παρόμοιες με αυτές ψυχρό-τερων νερών της περιοχής, γεγονός που ενισχύει την άποψη της βιογενούς προέλευσης του CO_2. Ακόμη, τα γεωθερμικά νερά των γεωτρήσεων και των πηγών είναι ελαφρώς κορεσμένα ως προς τον ασβεστίτη (Is: 0.139-0.316) και υπέρκορα ως προς τον χαλαζία (Is: 0.442-0.594). Ο λόγος Mg/Ca λαμβάνει χαμηλές τιμές (0.09-0.22) σε αντίθεση με τις υψηλότερες (2.24) του νερού της λίμνης. Οι λόγοι Cl/F, Cl/B και Cl/HCO_3 παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές (Cl/F: 1.80-2.54, Cl/B:9.93-14.5, Cl/HCO_3: 0.177-0.365) που δείχνουν την ύπαρξη ενός ουσιαστικά θερμού υδροφόρου ορίζοντα, όπως άλλωστε διαπιστώθηκε και από τη μελέτη των υδραυλικών και γεωθερμικών χαρα-κτηριστικών (Φυτίκας κ.ά., 1997). Όλοι πάντως οι παραπάνω λόγοι διαφοροποιούνται από τους αντίστοιχους του νερού της λίμνης.

Στις γεωτρήσεις Γ5 και Γ6 παρατηρήθηκε αξιόλογη έκλυση αερίων με τη μορφή φυσαλίδων, όχι μόνο κατά τις αντλήσεις αλλά και πολλές μέρες μετά από αυτές. Με τη μέθοδο της ανεστραμμένης φιάλης βρέθηκε ότι η παροχή των αερίων στη Γ6 ήταν περίπου 5 l/h. Προκειμένου να προσδιοριστούν ποιοτικά και ποσοτικά τα εκλυόμενα αέρια πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία αερίων, που στη συνέχεια αναλύθηκαν στα Εργαστήρια του Τμ. Χημικών Μηχανικών Α.Π.Θ. με τη μέθοδο της αέριας χρωματογρα-φίας με χρωματογράφο αερίων Model 3400 Varian, ενώ ο προσδιορισμός της συγκέντρωση του H_2S έγινε με τη χρήση του ανιχνευτή ECOLYZER Model 100-H_2S Draeger Inc. Στα αέρια βρίσκονται και σημαντικές ποσότητες αέρα, κυρίως στο δείγμα που προέρχεται από τη Γ5. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με δύο τρόπους: όπως μετρή-θηκαν κι όπως υπολογίζονται μετά την αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα (Πίν.4).

Το κυρίαρχο αέριο είναι το άζωτο (N_2). Σε πολύ μικρότερα ποσά βρίσκονται το CH_4 και το CO_2, ενώ δεν ανιχνεύθηκαν άλλοι υδρογονάνθρακες. Είναι πολύ πιθανό να υπάρχει Ar σε μικρές συγκεντρώσεις, αλλά το σημαντικό ποσοστό του αέρα στα δεί-γματα κάνει πολύ δύσκολη την ακριβή μέτρηση της συγκέντρωσής του.

Η παρουσία του N_2 ίσως να συνδέεται με την αποσύνθεση οργανικών υλικών στα ιζηματογενή πετρώματα ή και να προέρχεται από τον αέρα που αρχικά έχει διαλυθεί στο κυκλοφορούν μετεωρικό νερό (Ellis & Mahon, 1977).

Πίν. 4. Σύσταση % κ.ο. των αερίων που εκλύονται με φυσικό τρόπο από την οπή των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6 της Ν. Απολλωνίας καθώς και της σύστασης του αέρα

Table 4. Composition in % by vol. of gasses that are released naturally from the holes of the wells Γ5 and Γ6 of N. Apollonia and the composition of the air.

ΑΕΡΙΟ	Γ5 (όπως μετρήθηκε)	Γ5 (χωρίς το O_2)	Γ6 (όπως μετρήθηκε)	Γ6 (χωρίς το O_2)	ΑΕΡΑΣ
$Ï_2$	5.1	---	1.3	---	78.08
$Í_2$	90.8	97.1	95.3	96.2	20.95
$CÏ_2$	1.3	1.8	1.3	1.5	0.035
CH_4	0.8	1.1	2.2	2.3	---
Ar	*	*	*	*	0.93
H_2S	<2 ppm	<2 ppm	~ 250 ppm	~ 250 ppm	---

**** Ανιχνεύθηκε σε ποσοστά 0.2% ± 0.1, που πιθανώς να οφείλονται στην παρουσία του αέρα***

Η ελαφρά οσμή υδροθείου, που διαπιστώθηκε κατά την άντληση της Γ6, μας οδήγησε στην ανάγκη συμπληρωματικής δειγματοληψίας για να προσδιορισθεί το διαλυμένο υδρόθειο στο νερό. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν, ότι το νερό της γεώτρησης Γ5 περιέχει HS^- στην αμελητέα ποσότητα των 0.1 - 0.2 ppm (όριο χημικής ανίχνευσης της μεθόδου) ενώ το νερό της Γ6 περιέχει HS^- σε αξιοσημείωτη ποσότητα που φθάνει τα 8.58 ppm.

Η φυσική διαδικασία παραγωγής H_2S είναι βιοχημική και φαίνεται ότι αυτό προέρχεται από αναγωγή μέρους των SO_4^{2-} σε ένα αναερόβιο και αναγωγικό περιβάλλον υπό την επίδραση κάποιων βακτηρίων. Από τις γεωτρήσεις Γ-1, Γ-2 και Γ-6 της περιοχής των Λουτρών διαπιστώθηκε η πολύ μεγάλη παρουσία οργανικών υπολειμμάτων σε κατάσταση αποσύνθεσης, που δικαιολογούν αυτή τη διαδικασία. Τέτοια αναγωγικά περιβάλλοντα σε διάφορα σημεία της παρόχθιας ζώνης της λίμνης Βόλβης και υπό την επίδραση βακτηρίων, που ζουν σε ανερόβιες συνθήκες, προσβάλλουν τα SO_4^{2-} και σχηματίζουν H_2S. Εκτός από την προσβολή των SO_4^{2-}, αυτά τα ίδια αναερόβια και αναγωγικά περιβάλλοντα θα μπορούσαν, λόγω της αποσύνθεσης των οργανικών υλικών, να προκαλέσουν το σχηματισμό αυτού του αερίου. Αντίθετα, η οξείδωση του H_2S σε επιφανειακά νερά παράγει νερά πλούσια σε SO_4^{2-} (Ellis & Mahon, 1977). Επίσης, η επαφή υδροφόρων εμπλουτισμένων σε SO_4^{2-} με αργίλους πλούσιους σε οργανικά υπολείμματα δικαιολογεί την παραγωγή H_2S.

Η διαφορά στην περιεκτικότητα των νερών σε H_2S μεταξύ των γεωτρήσεων Γ5 και Γ6, που απέχουν μόλις 70 m, μπορεί να οφείλεται στην τοπική ύπαρξη ευνοϊκού ανα-ερόβιου, αναγωγικού περιβάλλοντος. 'Αλλωστε, ανάμεσα στα υδροπερατά ιζήματα της Γ-6 παρεμβάλλονται κάποια μικρά στεγανά στρώματα που περιέχουν και σαπρόφυτα υλικά (οργανικά υπολείμματα που αποτέθηκαν τοπικά, πιθανότατα φακοειδώς, σε παλαιότερο λιμναίο πυθμένα). Εξάλλου, από παλαιότερη έρευνα (PPC & ENEL, 1979) διαπιστώθηκε ότι το Eh δείγματος από τη πηγή των Λουτρών ήταν +0.285 Volts ενώ από την πηγή Π-3 ήταν Eh=+0.900 Volts, τιμές που δείχνουν οξειδωτικό περιβάλλον στις θέσεις αυτές. Ο οξειδωτικός χαρακτήρας στο νερό της πηγής των Λουτρών (Eh=+0.82 Volts) διαπιστώθηκε και από τον Vatseris (1992). Σε ένα τέτοιο περιβάλλον το S βρίσκεται με τη μορφή SO_4^{2-}. Αντίθετα, νερό της λίμνης Βόλβης (από απόσταση 100 m από την ακτή, μπροστά από την πηγή Π-3) παρουσιάζει Eh=-0.100 Volts, που είναι δείκτης ελαφρώς αναγωγικού περιβάλλοντος. Τέλος, η βιολογικά ελεγχόμενη αναγωγή των SO_4^{2-} έχει αποδειχθεί από μία ένδειξη του ^{34}S των 36‰ (Λίμνη Βόλβη, Γεώτρηση ΙΓΜΕ) (Jackelen H.P. et al., 1986). Το γεγονός ότι σε κάποια σημεία το Eh είναι αρνητικό ενώ σε αλλού θετικό, δείχνει τον τοπικό και περιορισμένο χαρακτήρα των αναγωγικών περιβαλλόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

DAVIS S.N. & DE WIEST R.J.M. 1966. *Hydrogeology*, New York, 463pp. (John Wiley & Sons).

ELLIS, A.J. & MAHON, W.A.J. 1977. *Chemistry and Geothermal Systems,* 392pp. (Academic Press, Inc).

ΕΟΤ 1966. *Λουτροπόλεις και Ιαματικαί Πηγαί*, Αθήνα, 143 σελ.

JACKELEN, H.P., LOEHNERT E.P. & PAPAKONSTANTINOU A. 1986. Natural Tracers (Chemical Parameters and Environmental Isotopes) in Groundwater of the Western Chalkidiki Peninsula (Greece), *Reprinted from Proceedings of the 5th International Symposium on Undergroundwater Water Tracing,* IGME, Athens, pp. 59-73.

ΠΟΥΤΟΥΚΗΣ Δ. & ΝΤΟΤΣΙΚΑ Ε. 1994. Υδρογεωχημική και ισοτοπική έρευνα της περιοχής των Λουτρών Λαγκαδά και Βόλβης, *Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου,* Τόμος Β΄, σελ. 679-689, Αθήνα.

ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ν. & ΣΠΥΡΙΔΗΣ Ε. 1990. Γεωλογική - Υδρογεωλογική Μελέτη Ιαματικών Νερών Νέας Απολλωνίας (Λουτρά Βόλβης), *Πρακτικά 2ου Συνεδρίου για τα Θερ-μομεταλλικά Νερά (Θεσ/νίκη, 7-9/10/1998),* Θεσ/νίκη, σελ. 228-239.

PPC & ENEL 1979. *Geothermal reconnaissance study of Macedonia and Chalcidice*, General Report, Geoth. Power Development Program in Greece, GR/R-4, 101 pp.

TRUESDELL, A.H. & JONES, B.F. 1974. WATEQF, a computed programme for calculating equilibria of natural waters, *U.S.Geol.Surv.Journ.Res.* 2, 233-248.

VATSERIS CH. 1992. *Hydrogeologie des Mygdonias - Beckens (Nord - Griechenland) unter Berucksichtigung der hydrochemischen und isotopenphysikalischen Komposition der Thermalwasser.* Doctorarbeit, Universitat Munster, Seites 171.

ΦΥΤΙΚΑΣ Μ., ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Γ. & ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ Α. 1997. Γεωθερμικά και Υδραυλικά χαρα-κτηριστικά του θερμού υδροφορέα της περιοχής των πηγών Νέας Απολλωνίας Θεσ-σαλονίκης, *Πρακτικά 4ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου,* σελ.547-569.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1811-1818, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1811-1818, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

Η ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Α. ΖΕΛΗΛΙΔΗΣ[1] & Π. ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ[2]

ΣΥΝΟΨΗ

Το νησί της Χίου χωρίστηκε σε τρείς υδρογεωλογικές περιοχές (Αμάνης, Μεροβίγλης και Μαραθοβουνίου) με βάση την στρωματογραφική διάρθρωση του νησιού και τις ανάγκες του σε νερό. Η περιοχή του Μαραθοβουνίου χωρίστηκε σε τρείς υποπεριοχές (Λαγκαδάς, Βροντάδων και Καταρράκτη). Στις τρείς αυτές υποπεριοχές εκτελέστηκαν 40 γεωηλεκτρικές διασκοπίσεις που έδειξαν πως οι υδροφορίες εντοπίζονται τόσο μέσα στους ανθρακικούς σχηματισμούς όσο και στις εναλλαγές κλαστικών - ανθρακικών πετρωμάτων. Στις υδρογεωλογικές λεκάνες "Κορακάρη" και "Καλαμωτής", όπου παρουσιάζονται και τα έντονα προβλήματα, ποιοτικής υποβάθμισης και ποσοτικής ανεπάρκειας προτείνονται έργα εμπλουτισμού των υδροφόρων αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών, με έργα υδρομάστευσης.

ABSTRACT

The Chios island, based on its stratigraphic composition and water needs, is separated into three hydrogeological areas. The central part of the island, with the greatest needs on water, based on both human activity-tourism-agriculture development and stratigraphic composition, is separated into three sub-areas. Into these sub-areas 40 geoelectric soundings have been carried out, in order to solve stratigraphic and hydrogeological problems. The soundings results showed that the aquifers developed within both the carbonate deposits and the clastic - carbonate bed alternations. In the two existing hydrogeological basins, in the central hydrogeological area, of "Korakari" and "Kalamoti", quality deterioration and quantitative inadequacy have been observed. For these hydrogeological basins aquifers enrichment works are suggested, whereas a significant help to affront the water deficiency is both the surface water discharge exploitation and a new borehole drilling project outside the Korakari and Kalamoti basins.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ιζηματολογία, Υδρογεωλογικές Συνθήκες, Νήσος Χίος
KEY WORDS: Sedimentology, Hydrogeological Conditions, Chios Island

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικα

Όπως όλα τα νησιά της Ελλάδας έτσι και η Χίος παρουσιάζει έντονη οικιστική και τουριστική ανάπτυξη κυρίως τους θερινούς μήνες, που σε συνδυασμό με την αγροτική δραστηριότητα, αντιμετωπίζει μεγάλα προβλήματα ύδρευσης και άρδευσης σε ορισμένες περιοχές της. Η στρωματογραφική διάρθρωση κάθε νησιού ο κατακερματισμός των πετρωμάτων εξ'αιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας, τα χαμηλά υψόμετρα των βουνών, είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν κύρια την υδρογεωλογία των νησιών. Στα περισσότερα νησιά, όπως και στη Χίο, υπάρχουν πολλές επιφανειακές απορροές στην παράκτια ζώνη που συνδέονται με την τεκτονική και τη στρωματογραφία του νησιού.

Σύμφωνα με τους Μπάνος κ.α. (1995) το νησί της Χίου μπορεί να χωριστεί με βάση το γεω-περιβάλλον του νησιού σε τρία υδατικά διαμερίσματα: 1. Αριούσας στη ΒΔ Χίο με δύο ζώνες (Αμανής και Βολισσού), 2. Πυτιούσας στη Β Χίο με τρεις ζώνες (Πεληναίου, Δελφινίου και Ν.Μονής), και 3. Κατοχωρίων στην Κ και Ν Χίο με πέντε ζώνες (Ρεστών, Κορακάρη, Λευκιωνίας, Κατράρη και Φανών).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η καταγραφή, η μελέτη και η ταξινόμηση των υδρογεωλογικών προ-

* SEDIMENTOLOGICAL AND STATIGRAPHICAL COMPOSITION OF THE CHIOS ISLAND, TOWARDS THE SOLUTION OF EXISTING HYDROGEOLOGICAL PROBLEMS.

1. Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας, 26500 Πάτρα.

βλημάτων της Χίου με βάση τη στρωματογραφική διάρθρωση του νησιού, την ιζηματολογία των πετρωμάτων, την οικιστική, τουριστική και αγροτική ανάπτυξη του. Επιπλέον θα προταθούν όπου είναι δυνατόν τρόποι επίλυσης των υδρογεωλογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει το νησί.

1.2 Στρωματογραφική - ιζηματολογική διαρθρωση του νησιου

Το νησί της Χίου δομείται από τρεις διαφορετικής ηλικίας στρωματογραφικές σειρές, με διαφορετική επίσης ιζηματολογική σύνθεση και υδρογεωλογική συμπεριφορά (Εικ. 1 και 2).

Σειρά Α: Παλαιοζωϊκό (Σιλούριο έως και Πέρμιο). Η σειρά αυτή με ορατό πάχος έως και 1000 μέτρα και άγνωστο υπόβαθρο, συντίθεται από κλαστικά πετρώματα που αποτελούνται κύρια από γραουβάκες με παρεμβολές στρωμάτων κροκαλοπαγών, σχιστολίθων και πυριτολίθων. Κατά θέσεις στο ΒΑ τμήμα του νησιού υπάρχουν ασβεστολιθικοί φακοί μικρού πάχους, ενώ στο ΝΔ και ΒΔ τμήμα του υπάρχουν μεγαλύτερες εμφανίσεις παλαιοζωϊκών ασβεστολίθων, πάχους 30-70 μέτρων. Η σειρά αυτή αποτελεί το υπόβαθρο του νησιού και καλύπτει με επιφανειακή εμφάνιση το σύνολο του ΒΔ τμήματός του ενώ στο υπόλοιπο νησί υπάρχουν μικρές επιφανειακές εμφανίσεις (Εικ. 2).

Β: Μεσοζωϊκό (Τριαδικό - Ιουρασικό). Η σειρά αυτή αναπτύσσεται ασύμφωνα (είτε με γωνιώδη ασυμφωνία είτε με διαβρωσιγενή επιφάνεια) πάνω στη σειρά Α και αποτελείται από δύο ακολουθίες ιζημάτων που καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του νησιού (σχήμα 2). Η κύρια ακολουθία αναπτύσσεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού, και αντικατοπτρίζει σχεδόν το σύνολο της σειράς Β, ενώ η δεύτερη ακολουθία αναπτύσσεται στο νοτιότερο και βοριοανατολικό άκρο του νησιού και αντιστοιχεί σε μικρό ποσοστό της σειράς Β.

Η κύρια ακολουθία, πάχους >2500 μέτρων, αποτελείται κύρια από ανθρακικά ιζήματα. Το κατώτερο τμήμα της ακολουθίας αυτής, πάχους <700 μέτρων, αποτελείται από εναλλαγές ανθρακικών και κλαστικών ιζημάτων. Η δεύτερη ακολουθία, πάχους έως και 300 μέτρων, αποτελείται από ανθρακικά ιζήματα και μόνο στη βάση της και στη μετάβαση προς την υποκείμενη σειρά Α εμφανίζεται στρώμα πάχους <20 μέτρων που αποτελείται από κροκαλοπαγή.

Σειρά Γ: Καινοζωϊκό (Παλαιογενές - Ολόκαινο). Η σειρά αυτή αναπτύσσεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού και αποτελείται από δύο ακολουθίες ιζημάτων (Εικ. 2). Η κατώτερη ακολουθία (Παλαιογενές έως και ανώτερο Μειόκαινο), πάχους έως και 500 μέτρων, αναπτύσσεται στο βόριοανατολικό τμήμα του νησιού, και αποτελείται από κλαστικές αποθέσεις. Η ανώτερη ακολουθία (ανώτερο Μειόκαινο - ?κατώτερο Πλειόκαινο), πάχους >250μέτρων, αναπτύσσεται στο νότιοανατολικό τμήμα το νησιού και αποτελείται από ανθρακικά ιζήματα με παρεμβολές μαργαϊκών και αργιλικών στρωμάτων.

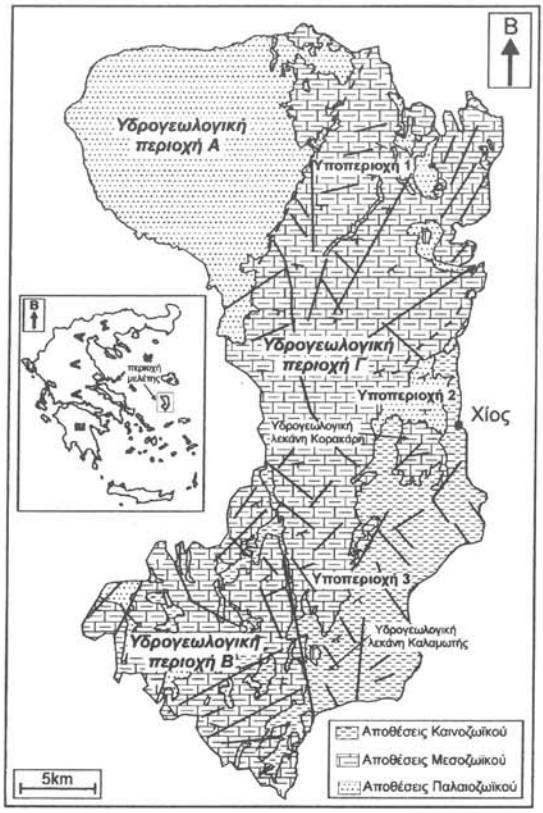
Τα κλαστικά ιζήματα στις δύο σειρές (Β και Γ) αποτε-λούνται από λεπτόκοκκα (ιλυόλιθοι) και από αδρομερή ιζήματα (άμμοι και κροκαλοπαγή).

2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ

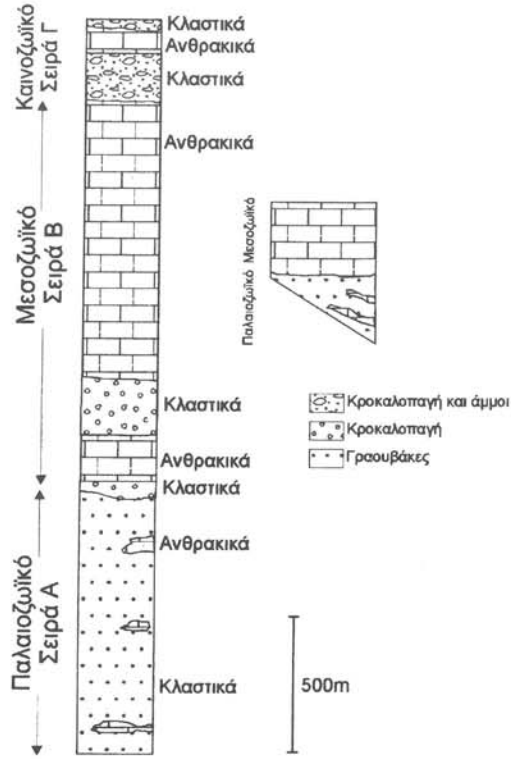
Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω στρωματογραφική διάρθρωση της Χίου, και σε συνδυασμό με την τεκτονική, τη γεωμορφολογία, την οικι-στική ανάπτυξη και τις ανάγκες του νησιού σε νερό (ύδρευση άρδευση), το νησί μπορεί να χωρισθεί σε τρεις υδρογεωλογικές περιοχές, τη ΒΔ Χίο, τη Δ- ΝΔ Χίο και την Κ- Α Χίο (Εικ. 1).

Περιοχή Α (ΒΔ Χίος): Η περιοχή βρίσκεται ΒΔ του άξονα Βαθειά Λαγκάδια - Ακρα Ουρά και συμπίπτει με την περιοχή όπου έχει επιφανει-ακή ανάπτυξη μόνο η στρωμα-τογραφική σειρά Α (Εικ. 1). Η περιοχή έχει μικρή οικιστική ανάπτυξη, στο σύνολο της έχει αγροτική δραστηριότητα και έντονα ανάγλυφα (όρος Αμάνη με υψόμετρο 808 μέτρα). Οι απαιτήσεις σε νερό της περιοχής καλύπτονται κύρια από τις υπάρχουσες πηγές ύδατος. Οι πηγές αυτές είναι οι περισσότερες επαφής ενώ υπάρχουν και πηγές υπερπλή-ρωσης. Οι πηγές δημιουργούν-ται, είτε εξ'αιτίας των εναλλαγών των κλαστικών αποθέσεων (υδροπερατών και μη), είτε λόγω της ύπαρξης φακών και παρενστρώσεων ανθρακικών πετρωμάτων μέσα στην κλαστική σειρά, αλλά και στην παραμόρφωση των πετρωμάτων εξ'αιτίας της τεκτονικής. Στην περιοχή δεν υπάρχουν γεωτρήσεις (Εικ. 3).

Περιοχή Β (Δ-ΝΔ Χίος). Η περιοχή αυτή αναπτύσσεται δυτικά του άξονα Ορμος Λιθίου - Ορμος Καλαμωτής. Στην περιοχή αυτή έχει επιφανειακή ανάπτυξη κύρια η δεύτερη ακολουθία της στρωματογραφικής σειράς Β, ενώ μικρές επιφανειακές εμφανίσεις έχει τόσο το κατώτερο τμήμα της πρώτης ακολουθίας της σειράς Β όσο και η υποκείμενη στρωματογραφική σειρά Α (Εικ. 1). Στο σύνολο τους τα πετρώματα είναι έντονα κατακερματισμένα από ρήγματα με ΒΑ και ΝΔ διευθύνσεις (Εικ. 1). Η περιοχή έχει μέτρια οικιστική ανάπτυξη, κυρίως αγροτική δραστηριότητα και δευτερευόντως τουριστική. Χαρακτηρίζεται από ομαλά ανάγλυφα (όρος Μεσοβίγλη με υψόμετρο 355 μέτρα). Τα ανθρακικά ιζήματα κατά θέσεις είναι έντονα καρστικοποιημένα, ενώ υπάρχουν πολλά σημεία απορροών στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι απαιτήσεις σε νερό της περιοχής καλύπτονται



Εικόνα 1. Γεωλογικός χάρτης της νήσου Χίου όπου διακρίνονται οι τρεις κύριες στρωματογραφικές ενότητες και οι υδρογεωλογικές περιοχές στις οποίες χωρίστηκε η νήσος.
Figure 1. Geological map of Chios island, where the three major stratigraphic units and the hydrogeological systems and sub-systems in which the island is separated are observed.



Εικόνα 2. Απλοποιημένη στρωματογραφική στήλη της νήσου Χίου όπου διακρίνονται τα πάχη και ο τύπος απόθεσης των σειρών Α, Β και Γ.
Figure 2. Simplified stratigraphic column of Chios island, where thickness and depositional type of stratigraphic units A, B, and C are observed.

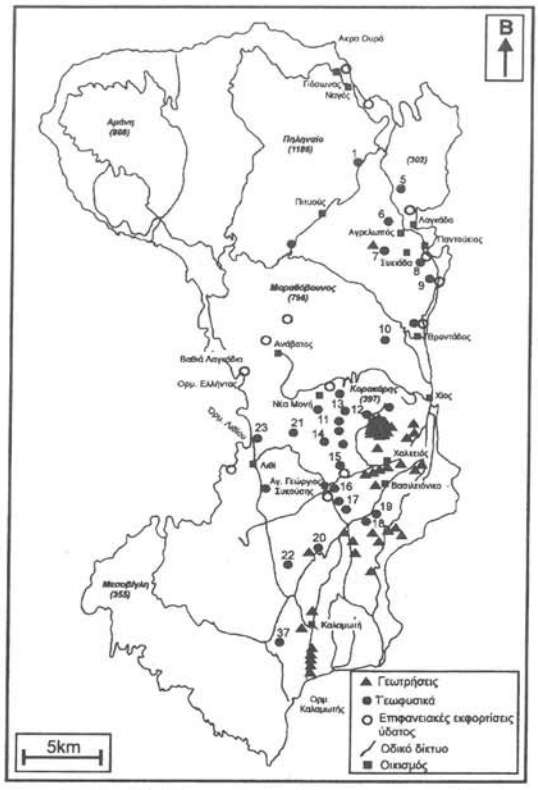
κύρια από την τρίτη υδρογεωλογική περιοχή. Στην περιοχή αυτή δεν υπάρχουν γεωτρήσεις (Εικ 3).

Περιοχή Γ (Κ - Α Χίος). Η περιοχή αυτή αναπτύσσεται ανατολικά του άξονα Ορμος Καλαμωτής - Ορμος Λιθίου - Ακρα Ουρά και παρουσιάζει το μεγαλύτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Η υδρογεωλογική αυτή περιοχή μπορεί να χωριστεί σε τρεις επιμέρους υποπεριοχές, εξ'αιτίας της διαφορετικής στρωματογραφικής σύνθεσης, της διαφορετικής οικιστικής ανάπτυξης και της μέχρι τώρα διαφορετικής υδρογεωλογικής εκμετάλλευσης (Εικ 3).

Υποπεριοχή 1 (βόρειο τμήμα της περιοχής Γ). Η υποπεριοχή αυτή αποτελείται στρωματογραφικά στο δυτικό της τμήμα απ'την πρώτη ακολουθία της σειράς Β και στο ανατολικό της τμήμα κύρια απ'τη δεύτερη ακολουθία της σειράς Β καθώς επίσης υπάρχουν επιφανειακές εμφανίσεις της σειράς Α. Η επαφή αυτών των δύο διαφορετικής στρωματογραφικής σύνθεσης περιοχών ελέγχεται τεκτονικά μέσω ρηγμάτων με ΒΒΑ διεύθυνση. Εξ'αιτίας των ρηγμάτων αυτών παροχετεύονται μεγάλες ποσότητες νερού στην παράκτια ζώνη στη βόρεια Χίο (περιοχές Γίοσωνα και Ναγού) (Εικ. 3). Το δυτικό τμήμα της υποπεριοχής αυτής χαρακτηρίζεται από έντονα ανάγλυφα (όρος Πηληναίο με υψόμετρο 1186 μέτρα) ενώ αντίθετα το ανατολικό τμήμα της από χαμηλά ανάγλυφα που δεν ξεπερνάνε τα 300 μέτρα. Η οικιστική και αγροτική ανάπτυξη της περιοχής είναι μικρή, ενώ οι ανάγκες σε νερό καλύπτονται από τις επιφανειακές εκροές (πηγές επαφής και υπερπλήρωσης) (Εικ. 3).

Υποπεριοχή 2 (κεντρικό τμήμα της περιοχής Γ). Η υποπεριοχή αυτή στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της αποτελείται στρωματογραφικά από τις κλαστικές αποθέσεις του Καινοζωϊκού και χαρακτηρίζεται από χαμηλά

ανάγλυφα. Στο βόρειο τμήμα της αποτελείται από την κλαστική ακολουθία της σειράς Α, ενώ δυτικά αναπτύσσεται η στρωματογραφική σειρά Β που είναι έντονα κατακερματισμένη εξ'αιτίας της ύπαρξης ΒΔ και ΒΑ διευθυνομένων ρηγμάτων και παρουσιάζει έντονα ανάγλυφα (όρος Μαραθόβουνος με υψόμετρο 796 μέτρα) (Εικ. 1 και 3). Στο εσωτερικό της επιφανειακής εμφάνισης της κλαστικής σειράς του Καινοζωϊκού υπάρχει απομονωμένη επιφανειακή εμφάνιση ανθρακικών πετρωμάτων της σειράς Β με υψόμετρο που φθάνει τα 397 μέτρα (όρος Κορακάρης). Αυτός ο αποκομμένος ανθρακικός όγκος μαζί με τις περιβάλλουσες σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις συνιστούν την υδρογεωλογική λεκάνη "Κορακάρη" (Εικ. 1). Στην λεκάνη Κορακάρη έχουν εκτελεστεί πολλές γεωτρήσεις και πηγάδια και το αντλούμενο νερό καλύπτει το >80% της ύδρευσης του πληθυσμού του νησιού (2 Δήμοι και 14 κοινότητες) και το >70% της άρδευσης των αρδευομένων εκτάσεων του νησιού. Η υπάρχουσα υδροφορία του ασβεστολιθικού αυτού όγκου κύρια στο νότιο τμήμα του, (Χαλκειός- Βασιλειόνικο) οφείλεται στην ύπαρξη ενός ΒΒΑ διευθυνομένου ρήγματος και στη νότια - νοτιοανατολική διεύθυνση κλίσης των στρωμάτων. Η υποπεριοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πολλές θέσεις με επιφανειακές εκφορτίσεις. Η χαρακτηριστικότερη περιοχή είναι αυτή της περιοχής Λαγκάδας - Παντουκιός - Βροντάδος όπου οι επιφανειακές εκφορτίσεις γίνονται στην παράκτια ζώνη. Οι άλλες περιοχές χαρακτηρίζονται από θετικά υψόμετρα σε σχέση με τη θάλασσα (περιοχή Ανάβατου και περιοχή Νέας Μονής) και οι εκφορτίσεις οφείλονται στην παρεμβολή κλαστικών ιζημάτων εσωτερικά των ανθρακικών ιζημάτων στην σειρά Β (Εικ. 1και 3).



Εικόνα 3. Θέσεις γεωτρήσεων, γεωφυσικών διασκοπήσεων και παρατήρησης επιφανειακής απορροής ύδατος.

Figure 3. The localities of boreholes, geoelectric soundings and surface water discharge.

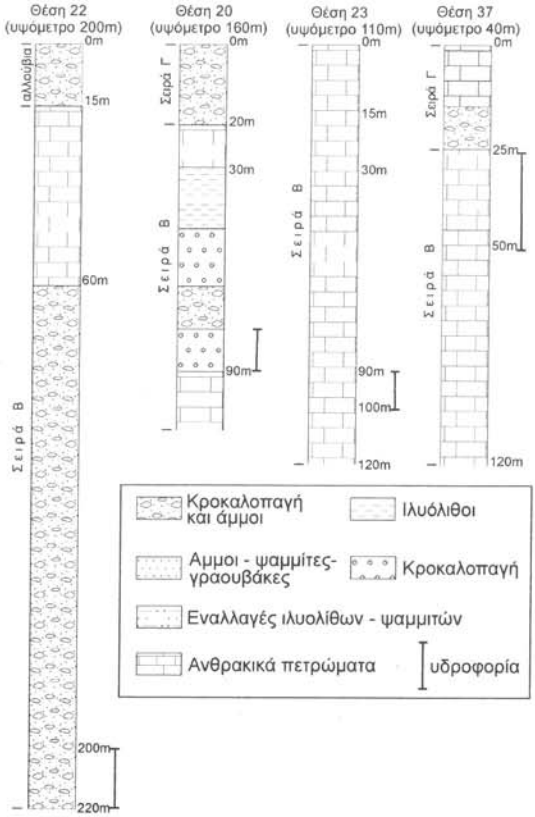
Υποπεριοχή 3 (νότιο τμήμα της περιοχής Γ). Στρωματογραφικά η υποπεριοχή αυτή αποτελείται στρωματογραφικά κύρια από το ανώτερο τμήμα της σειράς Γ (ανθρακικά ιζήματα του Μειοκαίνου και κατά δεύτερο λόγο στο δυτικό τμήμα της από ανθρακικά ιζήματα της σειράς Β και κλαστικά ιζήματα της σειράς Γ. Η υποπεριοχή αυτή χαρακτηρίζεται από ομαλά ανάγλυφα, ρήγματα με ΒΑ και ΝΔ διεύθυνση, καθώς και από αρκετά έντονη οικιστική, τουριστική και αγροτική ανάπτυξη. Οι ανάγκες σε νερό καλύπτονται από γεωτρήσεις στην περιοχή Καλαμωτής και για το λόγο αυτό ονομάστηκε "υδρογεωλογική λεκάνη Καλαμωτής". Στην περιοχή του Αγ. Γεωργίου Συκούσης υπάρχουν επιφανειακές εκφορτίσεις στην επαφή ανθρακικών και κλαστικών αποθέσεων της σειράς Β (Εικ. 1 και 3).

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Όπως ήδη ειπώθηκε η κύρια ύδρευση και άρδευση του νησιού γίνεται μέσα από τις δύο υγρογεωλογικές λεκάνες "Κορακάρη" και "Καλαμωτής", όπου υπάρχουν περισσότερες των 40 γεωτρήσεων και 1000 ηλεκτροδοτημένων πηγαδιών.

Η ετήσια δυναμικότητα της λεκάνης Κορακάρη σε συνάρτηση με τη μέση βροχόπτωση στην περιοχή που είναι της τάξεως των 680 χιλ/έτος, ανέρχεται σε 4.000.000 μ^3, ενώ οι ανάγκες για ύδρευση και άρδευση ξεπερνάνε τα 5.000.000μ^3. Έτσι, εξ'αιτίας της υπερεκμετάλλευσης - υπεράντλησης της λεκάνης αυτής παρατηρήθηκε ποιοτική και ποσοτική υποβάθμισή της. Η ποιοτική υποβάθμιση, με βάση στοιχείων τα έτη 1987-1991, δείχνει ότι στις περισσότερες γεωτρήσεις η περιεκτικότητα σε χλωριόντα από 100 - 250ppm έφθασε σε 450ppm, ενώ υπάρχουν και ακραίες περιπτώσεις που έφθασε και τα 1200ppm.

Από παλιότερα στοιχεία (1954 - 1983) το μέσο βροχομετρικό ύψος της τριακονταετίας ανερχόταν σε 626,5 χιλιοστά, με ελάχιστο το 1977 σε 346 χιλιοστά. Τα 1990 και 1991 το ύψος βροχής ήταν χαμηλότερο των 420



Εικόνα 4. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων στις θέσεις 22, 20, 23 και 37 καθώς και πιθανές θέσεις υδροφορίας των σχηματισμών αυτών.
Figure 4. The results of the geoelectric soundings in the localities 22, 20,23 and 37, and the potential aquifer sites.

χιλιοστών.

Σύμφωνα με τους Μπάνος κ.α. (1995) και με στοιχεία 1944-1994 το μέσο ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης είναι περίπου 680 χιλιοστά. Οι υδρευτικές ανάγκες του συνόλου του νησιού φθάνουν τα 4.500.000 m^3/έτος ενώ οι αρδευτικές ανάγκες του συνόλου των αρδευόμενων εκτάσεων φθάνουν τα 5.000.000 m^3/έτος, δηλαδή οι συνολικές ανάγκες φθάνουν στα 9.500.000m^3/έτος. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές η συνολική κατείσδυση στο νησί ανέρχεται σε 165.000.000 m^3/έτος και από αυτές μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το 10-15% δηλαδή περίπου 10-25.000.000 m^3/έτος.

Οι κύριες υδροφορίες στις δύο παραπάνω λεκάνες εστιάζονται σε ανθρακικά πετρώματα, όπου έχουμε πολύ καλή ανάπτυξη δευτερογενούς πορώδους, είτε λόγω κατακερματισμού των πετρωμάτων από ρήγματα, είτε λόγω έντονης καρστικοποίησης.

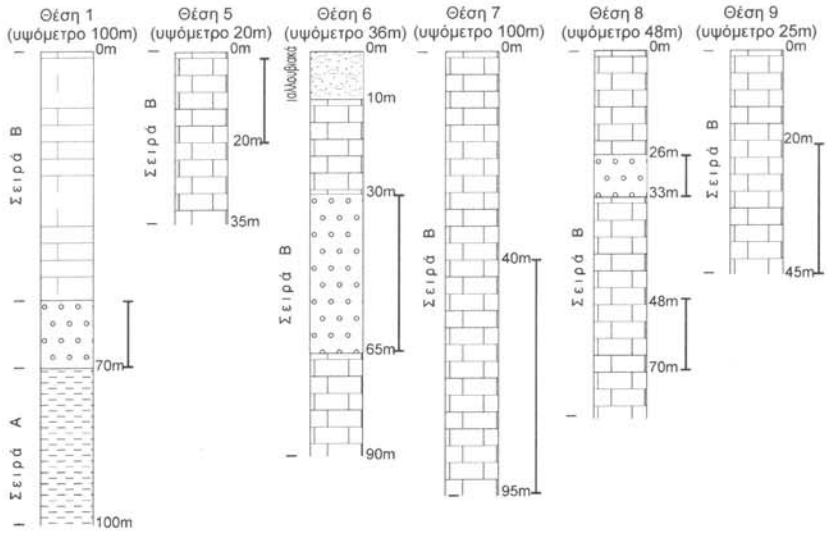
4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΕΙΣ

Εκτελέστηκαν 40 γεωφυσικές διασκοπίσεις στις περιοχές που παρουσίαζαν τα πιο έντονα προβλήματα ύδρευσης, και υπήρχε δυνατότητα άμεσης αξιοποίησης μέσο των υπαρχόντων δικτύων ύδρευσης. Η επιλογή της θέσης έγινε με βάση την τεκτονική ανάλυση της θέσης, και συνήθως αυτή βρίσκεται πάνω σε μια ρηξιγενή ζώνη και πιο συγκεκριμένα στο hangingwall του ρήγματος ή στη διασταύρωση ρηγμάτων.

Η ανάλυση, παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων γίνεται με βάση το χωρισμό του νησιού που έγινε σε υδρογεωλογικές: περιοχές, υποπεριοχές και λεκάνες. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων έδειξαν πως οι υδροφορίες αναπτύσσονται κύρια κοντά στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας όμως υπάρχουν και μερικές που βρίσκονται σε αρκετά θετικά υψόμετρα.

Α. Εκτελέστηκαν πέντε (5) γεωφυσικές διασκοπίσεις στον ΒΒΑ διευθυνόμενο άξονα Πιτυών - Καρδαμύλων με στόχο τον εντοπισμό της υποκείμενης στρωματογραφικής σειράς Α. Η ανάλυση των γεωφυσικών έδειξε πως βόρεια, στην περιοχή του Ναγού, η σειρά Α έχει επιφανειακή εμφάνιση σε υψόμετρο 200 μέτρων, στην περιοχή των Πιτυών η σειρά Α βρέθηκε σε βάθος -50 μέτρων απ'τη στάθμη της θάλασσας (αναγνωρίστηκε σε βάθος 550 μέτρων απ'την επιφάνεια του εδάφους, που στη θέση αυτή έχει υψόμετρο 500 μέτρα). Νοτιότερα στην περιοχή του όρμου της Ελίντας και στην παράκτια ζώνη η σειρά Α δεν εντοπίστηκε έως το βάθος των 100 μέτρων. Τα παραπάνω δείχνουν πως η επιφάνεια επαφής της σειράς Β και της υποκείμενης σειράς Α έχει κλίση νότια. Την ίδια γενική νότια κλίση δείχνουν και τα στρώματα της υπερκείμενης σειράς Β αιτιολογώντας έτσι τις μεγάλες εκφορτίσεις στην παράκτια ζώνη του όρμου της Ελίντας. Οι επιφανειακές εκφορτίσεις στην περιοχή του Ναγού δεν συνδέονται με την κλίση της επαφής της σειράς Α με την σειρά Β, αλλά με την τοπική τεκτονική της περιοχής του Ναγού.

Β. Οι γεωφυσικές διασκοπίσεις, αλλά και η εκτέλεση δύο γεωτρήσεων πάνω στον άξονα Ορμος Λιθίου - Ορμος Καλαμωτής, έδειξαν ότι το μεγάλο αυτό ρήγμα δεν υδροφορεί τουλάχιστον σε θετικά υψόμετρα, ενώ αντιθέτως υδροφορεί τόσο στη βόρεια του απόληξη, όπου υπάρχουν μεγάλες απορροές στην παράκτια ζώνη, όσο και στη νότια του απόληξη, όπου υπάρχουν γεωτρήσεις στην περιοχή Καλαμωτής με σημαντικές υδροφορίες. Τα δύο παραπάνω γεγονότα μας οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι υδροφορίες αυτές πιθανά να συνδέονται με μικρότερα ρήγματα ΒΑ κύρια διεύθυνσης που τέμνουν το μεγάλο ΒΒΔ ρήγμα. Ετσι, τέσσερις θέσεις έξω απ'τον άξονα αυτό και πάνω στα μικρότερα ρήγματα με ΒΑ διεύθυνση έδειξαν πιθανή υδροφορία, είτε μέσα σε ανθρακικά ιζήματα, είτε στην επαφή κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων (Εικ. 4).



Εικόνα 5. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων στις θέσεις 1, 5, 7, 7, 8 και 9 καθώς και οι πιθανές στρωματογραφικές θέσεις υδροφορίας των σχηματισμών αυτών.

Figure 5. The results of the geoelectric soundings in the localities 1, 5, 7, 8 and 9, and the potential stratigraphic aquifer sites.

Περιοχή Γ, υποπεριοχή 1: Στο τμήμα της υποπεριοχής αυτής που εκτείνεται μεταξύ των χωριών Λαγκάδας - Αγρελωπού - Συκιάδας και Παντουκιού, και χαρακτηρίζεται από πολλές θέσεις απορροής στην παράκτια ζώνη έγιναν πέντε γεωφυσικές διασκοπίσεις, ενώ μία επιπλέον έγινε βορειότερα, έξω απ'τη περιοχή αυτή. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων έδειξαν πως υπάρχουν υδροφορίες σε θετικά υψόμετρα, είτε μέσα στα ανθρακικά πετρώματα, είτε στην επαφή ανθρακικών - κλαστικών πετρωμάτων. Η προσεκτική δημιουργία γεωτρήσεων θα μπορούσε να αξιοποιήσει τις υδροφορίες αυτές (Εικ. 5).

Περιοχή Γ, υποπεριοχή 2: Στην υποπεριοχή αυτή υπάρχει η λεκάνη Κορακάρη με τα τόσα προβλήματα υπεράντλησης και υποβάβμισης της ποιότητας του νερού. Η γεωφυσική έρευνα που έγινε στην περίμετρο της λεκάνης είχε ως στόχο την διερεύνηση των στρωματογραφικών και υδρογεωλογικών συνθηκών στις περιοχές αυτές. Το ζητούμενο ήταν αν υπάρχει εμπλουτισμός της λεκάνης του Κορακάρη από περιβάλλουσες θέσεις, άν υπάρχουν άλλες ανεξάρτητες υδροφορίες κοντά σε δίκτυα ύδρευσης, έτσι ώστε να εκτελεστούν γεωτρήσεις που θα βοηθήσουν ή και ακόμη θα αντικαταστήσουν υπάρχουσες πολύ βεβαρυμένες γεωτρήσεις. Εκτελέστηκαν 26 γεωφυσικές διασκοπίσεις αλλά ενδιαφέρον υδρογεωλογικό παρουσίασαν μόνο οι 12.

Βόρεια του όρους Κορακάρης οι γεωφυσικές διασκοπίσεις έδειξαν: α. μεγάλα πάχη (>250 μέτρων) της στρωματογραφικής σειράς Β, και β. πιθανές υδροφορίες μέσα σε ρήγματα με ΒΒΔ διεύθυνση, ενώ βορειότερα οι υδροφορίες εντοπίζονται στις εναλλαγές κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων (Εικ. 6).

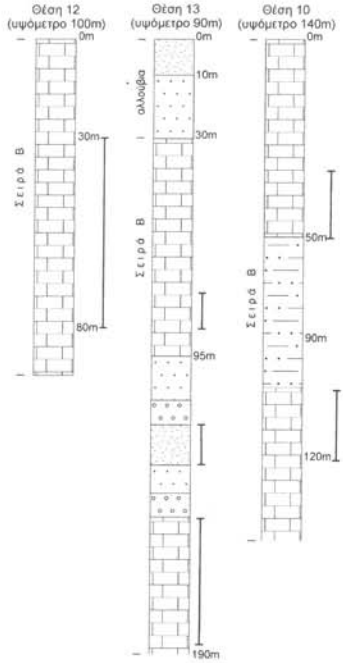
Οι γεωφυσικές μετρήσεις στο δυτικό τμήμα εστιάστηκαν μέσα στη στρωματογραφική σειρά Β,ενώ στο νότιο τμήμα μέσα στις ανθρακικές αποθέσεις της σειράς Γ. Οκτώ (8) θέσεις κρίθηκαν ότι παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, με υδροφορίες, είτε μέσα στα ίδια τα ανθρακικά πετρώματα, είτε σε εναλλαγές με κλαστικές αποθέσεις (σχ. 8).

Περιοχή Γ, υποπεριοχή 3. Στην υποπεριοχή αυτή υπάρχει η λεκάνη Καλαμωτής με προβλήματα υπεράντλησης και υποβάβμισης της ποιότητας του νερού, όπως στη λεκάνη Κορακάρη. Η υδροφορία στη λεκάνη αυτή συνδέεται κύρια με το μεγάλο ρήγμα που χωρίζει την περιοχή Β απ'την περιοχή Γ και αναλύθηκε παραπάνω (Εικ. 7 και 8).

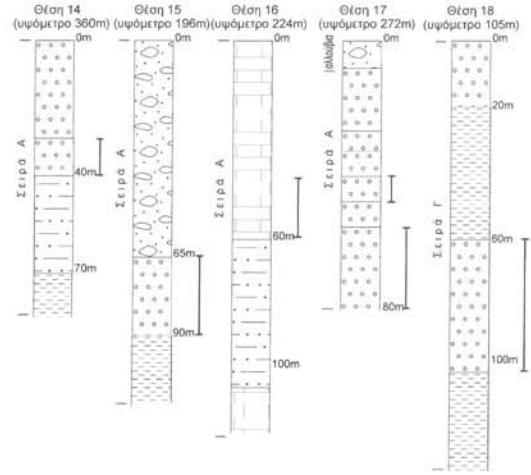
5. ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην θέση 11 υπήρχε αποτυχούσα γεώτρηση βάθους 180 μέτρων. Η διασκόπιση έδειξε υδροφορία απ'τα 150 έως τα 220 μέτρα και για το λόγο αυτό εκτελέστηκε νέα γεώτρηση στην ίδια θέση με θετικό αποτέλεσμα μετά το βάθος των 180 μέτρων (πληροφορίες για παροχή >40m3/h).

Έγινε προσπάθεια να εκτελεστούν 4 γεωτρήσεις σε θέσεις όπου οι διασκοπίσεις ερμηνεύτηκαν ως θετικές



Εικόνα 6. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων στις θέσεις 12, 13 και 10 καθώς και οι πιθανές στρωματογραφικές θέσεις υδροφορίας των σχηματισμών αυτών.
Figure 6. The results of the geoelectric soundings in the localities 12, 13 and 10, and the potential stratigraphic aquifer sites.



Εικόνα 7. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων στις θέσεις 14, 15, 16, 17 και 18 καθώς και οι πιθανές στρωματογραφικές θέσεις υδροφορίας των σχηματισμών αυτών.
Figure 7. The results of the geoelectric soundings in the localities 14, 15, 16 and 18, and the potential stratigraphic aquifer sites.

από την άποψη του υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος, αλλά λόγω προβλημάτων πρόσβασης ή αντιδράσεων κατοίκων, οι γεωτρήσεις έγιναν σε άλλες θέσεις με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα. Η θέση 23 όπου εκτελέστηκε η γεώτρηση έδειξε αγνώστου παροχής υδροφορία, επίσης μη αξιοποιήσιμο αποτέλεσμα.

6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Η υδρογεωλογική μελέτη και ανάλυση του νησιού της Χίου έδειξε πως οι μεγάλες υδροφορίες εντοπίζονται μέσα σε ανθρακικά πετρώματα με έντονα ανεπτυγμένο το δευτερογενές πορώδες τους, ενώ επίσης εντοπίστηκαν υδροφορίες τόσο σε κύριες ρηξιγενείς επιφάνειες όσο και σε περιοχές με εναλλαγές κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων. Η αξιοποίηση των παραπάνω υδροφορειών με εκτέλεση γεωτρήσεων έξω απ'τις λεκάνες Κορακάρη και Καλαμωτής μπορεί να ανακουφίση τις πολύπαθες και υπερανεπτυγμένες αυτές υδρογεωλογικές λεκάνες.

Οι μεγάλες ποσότητες νερού που απορρέουν επιφανειακά και καταλήγουν στη θάλασσα (είτε από μόνιμες πηγές είτε από τις σημαντικές βροχοπτώσεις) μπορούν και πρέπει να αξιοποιηθούν. Απαιτούνται έργα υδρομάστευσης, κατασκευή λιμνοδεξαμενών και στη συνέχεια τεχνιτός εμπλουτισμός των εξαντλημένων υδροφόρων των δύο παραπάνω υδρογεωλογικών λεκανών.

Με την εφαρμογή των παραπάνω αφ'ενός μεν θα μειωθεί η εκμετάλλευση από τις δύο παραπάνω υδρογεωλογικές λεκάνες, αφ'ετέρου δε θα αναβαθμιστούν και οι υπάρχουσες υποβαθμισμένες γεωτρήσεις στις δύο παραπάνω λεκάνες.

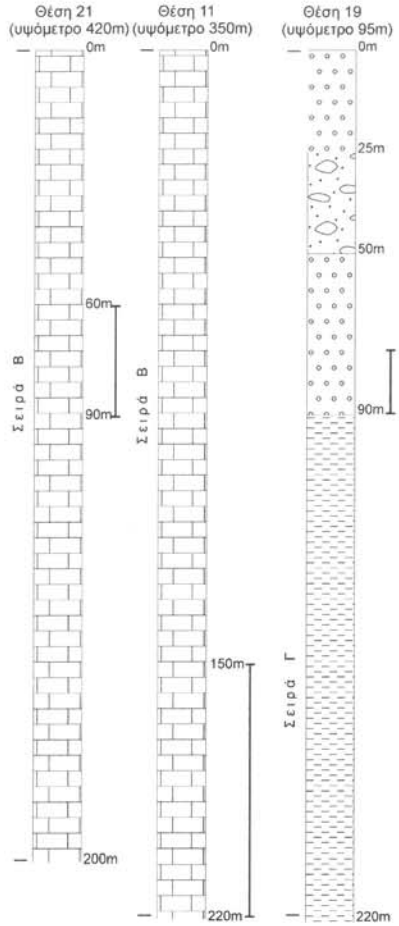
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη της στρωματογραφικής και ιζηματολογικής διάρθρωσης του νησιού, του τεκτονικού καθεστώτος, του υπάρχοντος υδρογεωλογικού καθεστώτος και της εκτέλεσης γεωηλεκτρικών διασκοπίσεων, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Το νησί μπορεί να χωρισθεί σε τρεις περιοχές υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος με βάση την στρωματογραφική και ιζηματολογική του διάρθρωση.
2. Η κεντρική υδρογεωλογική περιοχή χωρίστηκε σε τρεις υποπεριοχές με βάση την οικιστική και αγροτική ανάπτυξη της περιοχής αλλά και την διαφορετική στρωματογραφική τους διάρθρωση.
3. Σε δύο από τις παραπάνω υποπεριοχές χωρίστηκαν και περιγράφτηκαν οι υδρογεωλογικές λεκάνες Κορακάρη και Καλαμωτής. Οι υδροφορίες των δύο παραπάνω υδρογεωλογικών λεκανών δεν μπορούν να αντεπεξέλθουν στις οικιστικές και αγροτικές απαιτήσεις και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν ποιοτική υποβάθμιση και ποσοτική ανεπάρκεια.
5. Οι μεγάλες υδροφορίες εντοπίζονται κύρια μέσα σε ανθρακικά πετρώματα με έντονα ανεπτυγμένο το δευτερογενές πορώδες τους, και κατά δεύτερο λόγο σε κύριες ρηξιγενείς επιφάνειες και σε περιοχές με εναλλαγές κλαστικών και ανθρακικών πετρωμάτων.
7. Απαιτούνται έργα υδρομάστευσης των επιφανειακών εκροών, έργα εμπλουτισμού των εξαντλημένων υδροφόρων των παραπάνω υδρογεωλογικών λεκανών, και εκτέλεση νέων γεωτρήσεων έξω απ'τις υδρογεωλογικές λεκάνες Κορακάρη και Καλαμωτής έτσι ώστε να μειωθεί η εκμετάλευση από τις δύο παραπάνω υδρογεωλογικές λεκάνες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους κριτές κ.κ. Φ. Πομώνη - Παπαϊωάννου και Γ. Στουρνάρα για την επικοδομιτική κριτική στην κατεύθυνση βελτίωσης της εργασίας.



Εικόνα 8. Τα αποτελέσματα των διασκοπίσεων για τις θέσεις 21, 11 και 19, καθώς και οι πιθανές στρωματογραφικές θέσεις υδροφορίας.
Figure 8. The results of the geoelectric soundings in the localities 21, 11 and 19, and the potential stratigraphic aquifer sites.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BESENECKER, H., DURR,S., HERGET, G., KAUFFMANN,G., LUDTKE, G., ROTH, W. & TIETZE,K.W. 1971. Γεωλογικός Χάρτης Φύλλο Χίος, κλίμακας 1:50.000. ΙΓΜΕ, Αθήνα.

ΜΠΑΝΟΣ, ΧΡ., ΠΑΡΑΣΧΟΥΔΗΣ, Β. & ΠΙΠΙΔΗΣ, Μ. 1995. Αναμόρφωση υδατικού ισοζυγίου Ν.Χίου - ενιαία διαχείριση υδατικών πόρων. Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ηράκλειο Κρήτης, 428-442.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1819-1826, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1819-1826, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ*

Ν. ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ[1], Γ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ[2], Π. ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ[3] & Α. ΒΟΙΒΟΝΤΑ[4]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιότητα των υπόγειων νερών των τεταρτογενών αποθέσεων του Αργολικού πεδίου έχει υποβαθμιστεί εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που οδήγησαν στην αύξηση των συγκεντρώσεων των νιτρικών και στη διείσδυση της θάλασσας στην περιοχή. Η υποβάθμιση αυτή εκτείνεται στο παράκτιο και κεντρικό τμήμα του Αργολικού πεδίου. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων στα υπόγεια νερά ξεπερνούν τα 600 mg/l, και των νιτρικών ιόντων τα 100 mg/l. Περιφερειακά των υφαλμυρισμένων περιοχών διαπιστώθηκε το φαινόμενο της σταδιακής αποκατάστασης της ποιότητας των νερών των υδροφόρων σχηματισμών (freshening process) λόγω του τεχνητού εμπλουτισμού. Η προσομοίωση των υδροφόρων για συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης ροής, προς την κατεύθυνση της εκτίμησης του χρόνου αποκατάστασης της ποιότητας των υπόγειων νερών σε σενάριο καθολικού τεχνητού εμπλουτισμού και διακοπής των αντλήσεων έδειξε ότι ο χρόνος αποκατάστασης είναι βραχύς. Για τα μη δραστικά σχετικά ιόντα όπως είναι τα χλωριόντα και τα νιτρικά ιόντα κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες αλλά και για την κύρια μάζα των υπολοίπων ο χρόνος αυτός ανέρχεται σε 20-23 έτη ενώ για την πλήρη αποκατάσταση της ποιότητας των υπόγειων νερών απαιτείται χρόνος μεγαλύτερος των 1000 ετών.

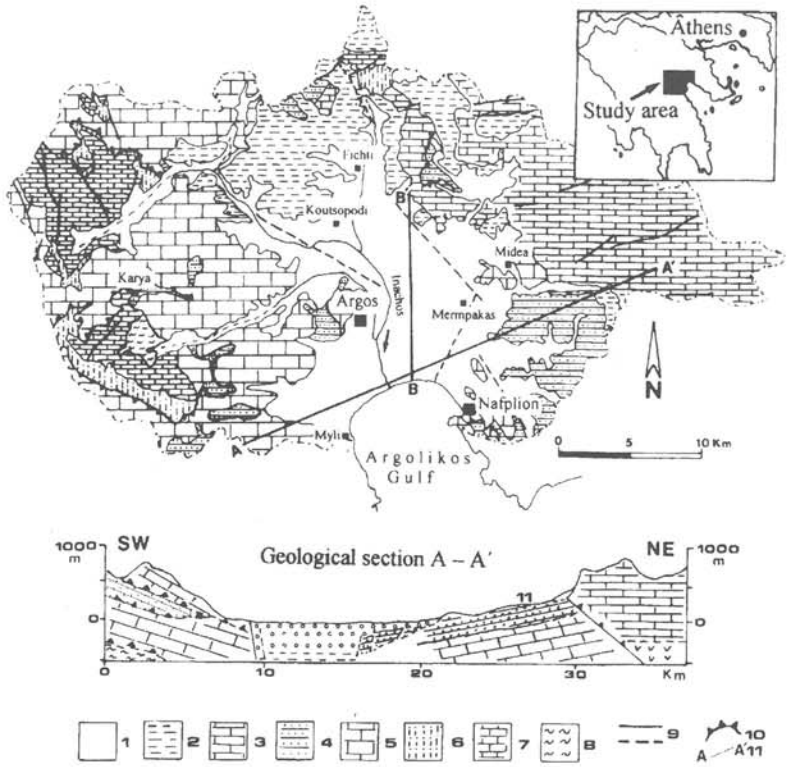
ABSTRACT

The quality of groundwater occurring within the alluvial sediments of the plain of Argos (Greece) has been seriously deteriorated due to human activities which have led both to saline intrusion and nitrate contamination. The chloride content of groundwater exceeds 600mg/l while nitrate concentrations are higher than 100mg/l. However, because of the artificial recharge applied partially some years ago, a "freshening process" has been identified along the periphery of the saline intrusion front. This paper studies the multicomponent ion exchange process and refreshening time according to a scenario of regional artificial recharge and cease of pumping. For the application of this scenario a recharge rate of 730mm per year was selected based on previous detailed studies in the region. One-dimensional flow and transport modeling was used to simulate refreshening process. In a theoretical chromatographic column of 6Km length, as it is the length of an assumed flow path, containing a number of cells, the aquifer has specified physicochemical properties such as cation exchange capacity, hydrogeological parameters etc, the values of which are taken from previous research in the region. The simulation led to the conclusion that the rehabilitation time is rather short. In fact, for the chemical species which were considered in the concrete conditions like conservative species, such as chlorides and nitrates as well as for the main mass of the other ions, the rehabilitation time has been calculated to be approximately between 20 and 23 years. For the complete restoration of the aquifers the refreshening time was found to be higher that 1000 years. It is obvious that in case of natural recharge conditions the refreshening process is much more time consuming in relation to the previous one (Lambrakis et Kallergis 2001).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδρογεωλογία, υδροχημεία, υφαλμύρινση, αλλουβιακοί υδροφορείς, Αργολικό πεδίο.
KEY WORDS: Hydrogeology, hydrochemistry, saline intrusion, alluvial aquifers, Plain of Argos – Greece.

* GROUNDWATER QUALITY AND ESTIMATION OF REHABILITATION TIME OF THE ARGOLID PLAIN'S AQUIFERS UNDER ARTIFICIAL RECHARGE CONDITIONS.

1. Εργαστήριο Υδρογεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών
2. Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας, Γ. Π. Α. Ιερά Οδός 75, 118 55 Αθήνα
3. Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, Γ. Π. Α.
4. Ναύπλιο



Εικ. 1: Γεωλογική δομή περιοχής μελέτης (απλοποιημένος χάρτης από Παπασταματίου et al., 1970, Τάταρης et al., 1970 και Jacobshagen, 1986), 1: Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2: Νεογενείς σχηματισμοί, 3: Ανθρακικοί σχηματισμοί Ενότητας Πελαγονικής, 4: Φλύσχης Ενότητας Πίνδου, 5: Ανθρακικοί σχηματισμοί Ενότητας Πίνδου, 6: Φλύσχης Ενότητας Τρίπολης, 7: Ανθρακικοί σχηματισμοί Ενότητας Τρίπολης, 8: Σχιστόλιθοι-Φυλλίτες, 9: Ρήγμα, ορατό ή πιθανό, 10: Επώθηση-εφίππευση, 11: Γεωλογική τομή.

Figure 1: Geological structure of the study area (modified from Papastamatiou et al. 1970, Tataris et al. 1970 and Jacobshagen, 1986), 1: Quarternary deposits, 2: Neogene deposits, 3: Carbonates of Pelagonian units, 4: Flysch of Pindos units, 5: Carbonates of Pindos units, 6: Flysch of Tripolis units, 7: Carbonates of Tripolis units, 8: Schists-Phyllites, 9: Fault, visible or probable, 10: Overthrust-upthrust, 11: Geological section.

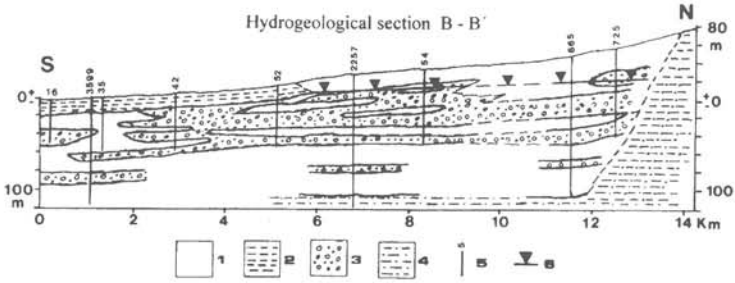
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις της πεδιάδας του Αργους έχουν έκταση που ξεπερνά τα 200 Km^2 και μέσο πάχος που ξεπερνά τα 100m. Φιλοξενούν επάλληλα υδροφόρα στρώματα των οποίων η ποιότητα του νερού είναι υποβαθμισμένη εξ' αιτίας των εντατικών αντλήσεων, των λιπάνσεων και των επιστρεφόμενων αρδευτικών ροών που γίνονται στην περιοχή. Οι αντλήσεις στο Αργολικό πεδίο παρουσίασαν κατακόρυφη αύξηση στην δεκαετία του 50 και οδήγησαν άμεσα στην υφαλμύρινση των αβαθών υδροφορέων (Θεοδωρόπουλος et al., 1970). Τα πρώτα πειράματα τεχνητού εμπλουτισμού για την ενίσχυση του υδατικού δυναμικού της περιοχής και την αναβάθμιση της ποιότητας του νερού έγιναν το 1964 στις περιοχές Αγ. Αδριανού, Λευκακίων και Δρεπάνου (Θάνος, 1994; Γιαννουλόπουλος, 2000).

Στην παρούσα ερευνητική εργασία επιχειρείται η εκτίμηση του χρόνου απορρύπανσης των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου σύμφωνα με ένα σενάριο καθολικού τεχνητού εμπλουτισμού βάσει νεώτερων στοιχείων που συλλέχθηκαν την περίοδο 1994-1995 στα οποία απεικονίζεται η υφιστάμενη κατάσταση ρύπανσης τους.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Το Αργολικό πεδίο δομείται από πετρώματα του αλπικού συστήματος καθώς και μεταλπικά ιζήματα (Εικ. 1). Οι γεωτεκτονικές ενότητες Τριπόλεως, Ωλονού-Πίνδου και Πελαγονικής καταλαμβάνουν τις ορεινές κυρί-



Εικ. 2: Σχηματική υδρολιθολογική τομή του Αργολικού πεδίου (1: άργιλοι και μάργες με άμμους και χάλικες, 2: άργιλος (αργιλικό κάλυμμα), 3: άμμοι-χάλικες, υδροφόρα στρώματα, 4: νεογενή μαργαϊκά κροκαλοπαγή, 5: γεώτρηση, 6: πιεζομετρική στάθμη (Γιαννουλόπουλος, 2000).

Figure 2: Hydrolithological section of the plain of Argos (1: clays, sands, marls, and pebbles undivided, 2: clay cover, 3: sand and pebbles - aquifer, 4: neogene marl conglomerates, 5: borehole, 6: groundwater level, (Giannoulopoulos, 2000).

ως περιοχές, ανήκουν στο αλπικό σύστημα και αποτελούνται από ανθρακικά πετρώματα και φλυσχικούς σχηματισμούς. Οι λοφώδεις βορειοδυτικές περιοχές καταλαμβάνονται από νεογενή ιζήματα, μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ενώ η πεδινή περιοχή καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις (Jacobshagen et al., 1978; Jacobshagen 1986; Παπασταματίου et al., 1970; Τάταρης et al., 1970). Οι προαναφερθείσες τεκτονικές ζώνες του Αλπικού συστήματος έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση και καρστικοποίηση. Στη τάφρο του Αργολικού πεδίου επικρατούν ρήγματα κύριας διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ καθώς και ΝΔ-ΒΑ.

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΩΝ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Το Αργολικό πεδίο ανήκει στον *Csa* κλιματικό τύπο κατά Kopen, έχει δηλαδή εύκρατο κλίμα με ξηρό καλοκαίρι και θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 22°C κατά τον θερμότερο μήνα. Δέχεται κατά μέσο όρο 500mm νερού από τις βροχοπτώσεις από τα οποία τα 350mm τροφοδοτούν την διαδικασία της πραγματικής εξατμισιδιαπνοής ενώ τα υπόλοιπα 150mm συμβάλλουν στην δημιουργία απορροής και κατείσδυσης (Πουλοβασίλης et al., 1993). Στο σύνολο της υδρολογικής λεκάνης, η οποία καταλαμβάνει σημαντική έκταση (Εικ. 1), οι παραπάνω παράμετροι διαφοροποιούνται. Η μέση βροχόπτωση ανέρχεται σε 700mm ενώ η πραγματική εξατιμισισδιαπνοή εκτιμάται σε 580mm περίπου.

Οι σημαντικότεροι υδροφόροι ορίζοντες στην υδρολογική λεκάνη αναπτύσσονται εντός των ανθρακικών καρστικών σχηματισμών. Εκφορτίζονται εν μέρει μέσω πλευρικών μεταγγίσεων στα τεταρτογενή ιζήματα και πηγαίων ή υποθαλάσσιων αναβλύσεων σε διάφορες περιοχές. Εντός των Τεταρτογενών σχηματισμών του Αργολικού πεδίου και ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα αναπτύσσονται επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα, τα οποία ενοποιούνται προς τις παρυφές της πεδιάδας σε αποστάσεις όχι μεγαλύτερες των πέντε έως επτά χιλιομέτρων όπου σχηματίζεται ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας. Αυτό επιβεβαιώνεται από την επεξεργασία πλήθους τομών γεωτρήσεων, (Γιαννουλόπουλος 2000, Εικ. 2). Τα υλικά των σχηματισμών αυτών έχουν ποικίλη προέλευση, (κώνοι κορημάτων, χειμαρρώδεις και ποτάμιες αποθέσεις) και σχετίζονται με τη δραστηριότητα του ποταμού Ιναχου ο οποίος κατά το Τεταρτογενές μετατοπίζεται διαρκώς από τα ανατολικά προς τα δυτικά (Σαμπατακάκης et al., 1995).

Το συνολικό πάχος των υδροφόρων στρωμάτων κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 μ. Τα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα της περιοχής απαντώνται σε απόλυτα βάθη που δεν ξεπερνούν τα 120m. Η τροφοδοσία τους γίνεται κυρίως στην περιφέρεια της υδρολογικής λεκάνης μέσω υπόγειων πλευρικών μεταγγίσεων από αλπικούς και νεογενείς σχηματισμούς όπως τα κροκαλοπαγή των περιοχών Μπόρσα, Φιχτίου και Κουτσοποδίου (Ταβιτιάν et al., 1993).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στην περιοχή έρευνας έλαβαν χώρα δύο δειγματοληψίες σε ένα δίκτυο 58 επιλεγμένων γεωτρήσεων κατανεμημένων ομοιόμορφα στην περιοχή των τεταρτογενών σχηματισμών (Εικ. 4). Κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1995 ελήφθησαν 44 δείγματα νερού. Επί τόπου μετρήθηκε το pH και προσδιορίστηκαν φωτομετρικά, με φορητό φωτόμετρο η συγκέντρωση των NO_3^- και της NH_3 (Πίνακας 1). Κατά την δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο της ίδιας χρονιάς ελήφθησαν 30 δείγ-

ματα στα οποία έγιναν πλήρεις αναλύσεις. Επί τόπου μετρήθηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι: θερμοκρασία (T°C), pH, δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) και διαλελυμένο οξυγόνο (DO). Επίσης προσδιορίστηκαν επί τόπου φωτομετρικά με φορητό φωτόμετρο οι συγκεντρώσεις των ιόντων NH_3, PO_4^{3-}, NO_3^- και NO_2^-. Στο Εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών προσδιορίστηκαν με μεθόδους τιτλοδότησης οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^- και Cl^-, φλογοφωτομετρικά τα κατιόντα Na^+ και K^+ και φασματοφωτομετρικά τα SO_4^{2-}. Το ποσοστό σφάλματος δεν υπερβαίνει το 5% όπως προκύπτει από την επεξεργασία των αναλύσεων για την οποία χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο λογισμικό (Λαμπράκης, 1991). Με την βοήθεια του λογισμικού αυτού έγινε και η κατασκευή του αναπτυγμένου διαγράμματος Durov της εικ. 3.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται στατιστικά στοιχεία των χημικών αναλύσεων των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου και για τις δύο περιόδους δειγματοληψίας. Από τον Πίνακα αυτό διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά έχουν αλκαλικό χαρακτήρα και υψηλές μέσες τιμές συγκεντρώσεων NO_3^- και NH_3 που ξεπερνούν τις μέγιστες αποδεκτές τιμές για πόσιμα νερά (οδηγία 75/440/ΕΕ) και αποδίδονται προφανώς στις έντονες λιπάνσεις στην περιοχή. Διαπιστώνεται επίσης ότι έχουν υψηλές συγκεντρώσεις Na^+, Cl^- που αποδίδονται στην επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης λόγω των εντατικών αντλήσεων. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των PO_4^{3-}, Mg^{2+},Ca^{2+}, και HCO_3 δεν ξεπερνούν τις μέγιστες επιτρεπόμενες για πόσιμα νερά (οδηγία 75/440/ΕΕ) ενώ οι μικρές σχετικά τιμές των τυπικών αποκλίσεων επιτρέπουν με μικρές επιφυλάξεις την αποδοχή των μέσων όρων.

Η μέση τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh: 217.84 mV) διαμορφώνεται σε υψηλά επίπεδα και σε συνδυασμό με την υψηλή μέση τιμή της συγκέντρωσης του διαλελυμένου οξυγόνου (DO: 6.08 mg/l) προκύπτει ότι οι υδροφόροι ορίζοντες της περιοχής ευρίσκονται κάτω από οξειδωτικές συνθήκες. Σε αυτό συμβάλλει η έντονη κυκλοφορία του νερού, η οποία συνδέεται με τις εντατικές αντλήσεις και τον τεχνητό εμπλουτισμό.

Πίνακας 1: Στατιστικές παράμετροι των χημικών αναλύσεων περιόδων Ιουνίου και Οκτωβρίου 1995.

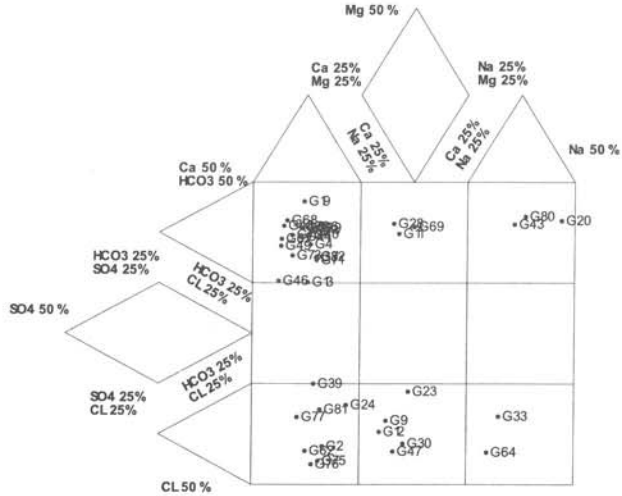
Table 1: Statistical parameters of the chemical analyses conducted during June and October 1995.

Παράμετρος	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή	Τυπική απόκλιση
T°C	18.65	20.29	17.0	0.87
pH	7.23	8.75	6.53	0.40
Eh	217.84	265	85	47.24
D.O	6.08	9.45	0.71	2.11
PO_4^{3-}	0.05	0.17	0.01	0.028
NH_3	0.808	7.55	0.00	1.34
NO_2^-	0.015	0.21	0.00	0.038
Mg^{2+}	36.97	196.8	2.20	41.59
Ca^{2+}	166.75	426.0	5.19	99.17
Na^+	93.57	619.09	13.97	102.33
K^+	2.65	11.39	0.75	2.38
HCO_3^-	306.88	568.5	168.4	95.50
Cl^-	261.97	1330.0	9.0	314.54
SO_4^{2-}	76.84	650	0.0	118.43
NO_3^-	63.56	369.6	3.96	86.59

Ετσι η αμμωνία των γεωργικών λιπασμάτων μετατρέπεται εύκολα σε νιτρικά ιόντα κατά την αντίδραση: $2NH_4^+ + 4O_2 + 2NO_3^- + 2\,H_2O + 4H^+$. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες τα νιτρικά ιόντα εμφανίζονται σχετικώς αδρανή και μεταφέρονται από το υπόγειο νερό χωρίς να λαμβάνουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις (Freeze and Cherry 1979, Antonakos @ Lambrakis, 2000).

5.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΑΤΑ DUROV

Η ταξινόμηση των διαφορετικών χημικών τύπων των υπόγειων νερών έγινε με την βοήθεια του αναπτυγμένου διαγράμματος Durov, (Burdon and Mazloum, 1958). Οπως φαίνεται στην Εικ. 3 στη περιοχή έρευνας διαπιστώνονται δύο κύριες ομάδες υπόγειων νερών. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι κατηγορίες των Na^+-HCO_3^-, Mg^{2+}-HCO_3^-, και Ca^{2+}-HCO_3^- χημικών τύπων νερών, ενώ στην δεύτερη οι κατηγορίες των Na^+-Cl^- ,



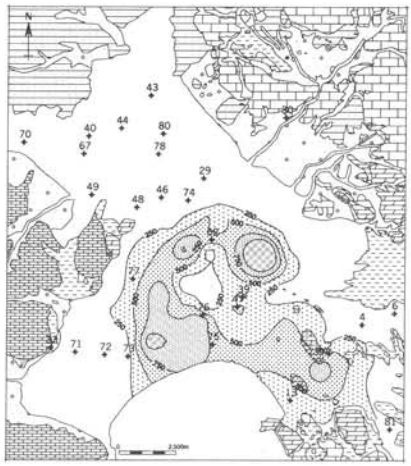
Εικ. 3: Κατανομή των υπόγειων νερών του Αργολικού πεδίου στο αναπτυγμένο διάγραμμα Durov.
Fig. 3: **Expanded Durov** *diagram showing the groundwater chemical types of the study area.*

Mg^{2+}-Cl^- και Ca^{2+}-Cl^- υδροχημικών τύπων. Οι δύο αυτές ομάδες δείχνουν φαινόμενα ιοντοανταλλαγής (Lloyd and Heathcote, 1985).

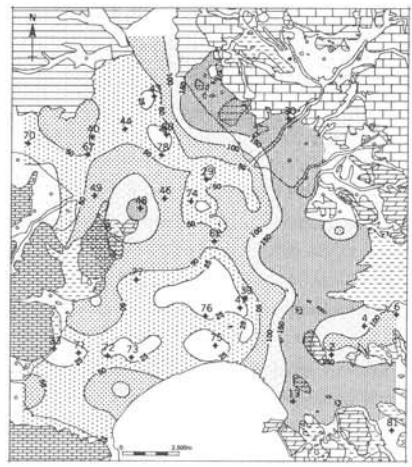
Η εμφάνιση των Ca^{+2}-Cl^- και Na^+-HCO_3^- υδροχημικών τύπων είναι ενδεικτική των φαινομένων υφαλμύρινσης και αποκατάστασης της ποιότητας των υπόγειων νερών και οφείλεται σε διαδικασίες ιοντοανταλλαγής μεταξύ των ιόντων Ca, Mg και Na. (Appelo and Postma 1994; Πεταλάς, 1997; Petalas and Diamantis, 1999, Lambrakis and Kallergis 2000). Από το διάγραμμα Durov (Εικ. 3) γίνεται φανερό ότι και οι δύο αναφερθείσες ανταγωνιστικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Ετσι η διαδικασία υφαλμύρινσης πιστοποιείται σε δείγματα υπόγειων νερών των γεωτρήσεων της παραλιακής και κεντρικής ζώνης της λεκάνης ενώ στην περιφέρεια λαμβάνει χώρα το αντίστροφο φαινόμενο λόγω τεχνητού εμπλουτισμού.

5.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ CL^- ΚΑΙ NO_3^-

Στην Εικ. 4α παρουσιάζεται η κατανομή των ιόντων χλωρίου και στην Εικ. 4β των νιτρικών ιόντων των υδροφόρων του Αργολικού πεδίου. Παρατηρείται ότι αυξημένες τιμές χλωριόντων παρουσιάζονται στο νότιο



Εικ. 4α: Κατανομή των χλωριόντων (ppm) στο Αργολικό πεδίο- 1995.
Fig. 4α: Chloride distribution (ppm)in Argos plain - 1995.



Εικ. 4β: Κατανομή των νιτρικών ιόντων (ppm) στο Αργολικό πεδίο - 1995.
Fig.re 4β: Chloride distribution(ppm) in Argos plain - 1995.

παράκτιο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Στην εικόνα αυτή παρατηρείται επίσης ότι τα σημεία δειγματοληψίας που αντιστοιχούν στο τμήμα των υδροφόρων που συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία υφαλμύρινσης (βλ. διάγραμμα Durov, σημεία G39, G77, G75, G76, G2) βρίσκονται εντός της ζώνης με τις υψηλές τιμές συγκεντρώσεων χλωριόντων, ενώ τα σημεία που αντιστοιχούν στην διαδικασία αποκατάστασης (βλ. διάγραμμα Durov, σημεία G80, G43) βρίσκονται στην περιφέρεια της παραπάνω ζώνης. Από την κατανομή των νιτρικών ιόντων (Σχήμα 4β) προκύπτουν υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις στο ανατολικό κυρίως τμήμα καθώς και στα περιθώρια της πεδιάδας. Το γεγονός αυτό σχετίζεται προφανώς με την ανάπτυξη ρηχών ελεύθερων υδροφορέων στις αντίστοιχες περιοχές καθώς και με την παρουσία αδρομερών υλικών στο ακόρεστο τμήμα.

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η προσομοίωση του υδροφόρου οριζοντα προς την κατεύθυνση της εκτίμησης του χρόνου απορρύπανσης επιχειρείται με την χρήση του κώδικα PHREEQM (Parkhurst et al., 1980; Appelo and Postma, 1994) για ένα σενάριο καθολικού τεχνητού εμπλουτισμού. Με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου (Γιαννουλόπουλος, 2000) έχει υπολογιστεί ότι με τη συστηματική εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού η περιοχή μπορεί να δεχθεί $30x10^6$ m^3 νερού ετησίως. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 580 mm δεδομένου ότι η επιφάνεια υποδοχής (ελεύθεροι υδροφόροι σχηματισμοί) ανέρχεται σε $120x10^6$ m^2. Σημειώνεται ότι οι ελεύθεροι υδροφόροι της περιοχής αναπτύσσονται κυρίως προς τα περιθώρια της πεδιάδας σε μια απόσταση 5 έως 7 Km από την ακτή. Η τροφοδοσία των υδροφορέων αντιστοιχεί στην κατείσδυση λόγω βροχοπτώσεων (δεχόμαστε την τιμή των 150 mm) και λόγω τεχνητού εμπλουτισμού (580 mm) σε σύνολο δηλαδή 730 mm. Ο παραπάνω κώδικας προσομοιώνει την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης ροής με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών επί μιας γραμμής ροής για μονοδιάστατη ροή (Lambrakis et Kallergis, 2001). Μια υποτιθέμενη στήλη το μήκος της οποίας (6 Km ταυτίζεται με αυτό της γραμμής ροής) περιλαμβάνει τον υδροφόρο με τα χαρακτηριστικά δεδομένα του Πίνακα 2, ενώ τα επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα ενοποιούνται σε ένα συνολικού πάχους 56 μέτρων που μεταπίπτει σε ελεύθερο στα περιθώρια της λεκάνης.

Πίνακας 2: Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων οριζόντων του Αργολικού πεδίου (T: Υδραυλική αγωγιμότητα, L: Μήκος της υποτιθέμενης «στήλης» ή γραμμής ροής, b: μέσο πάχος υδροφόρων στρωμάτων, Sy: Αποθηκευτικότητα, I: Κατείσδυση, [1](Γιαννουλόπουλος,2000) a_L: παράγων διασποράς,. CEC: Ικανότητα ιοντοανταλλαγής.

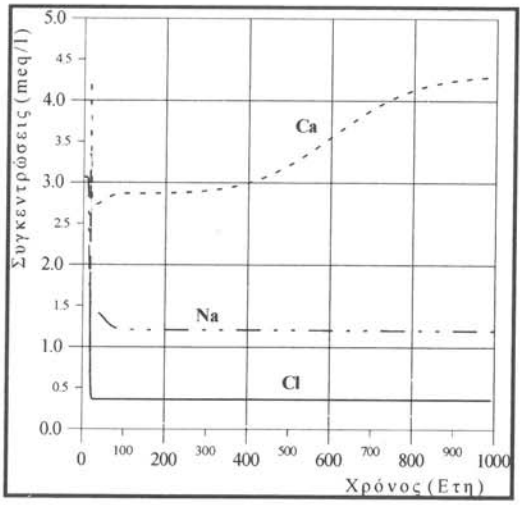
Table 2: Hydrogeological parameters of the alluvial aquifers of the plain of Argos. (T: Transmissivity, L: Length of a hypothetical aquifer column or length of a flow line, b: average aquifer thickness, Sy: Storage I: average direct recharge, a_L: dispersivity, . [1](Giannoulopoulos, 2000) CEC: Cation exchange capacity.

Υδροφόροι ορίζοντες	Υδρολιθολογία	Υδραυλικά χαρακτηριστικά	Αντιπροσωπευτικά δείγματα χημικών αναλύσεων (mmol/l)
Υδροφόρος ορίζοντας τεταρτ. σχηματ. Αργολικού πεδίου	Επάλληλα υδροφόρα στρώματα σε αδρομερή κλαστικά υλικά εναλλάσσονται με λεπτ.στεγαν	T=726-1425 m^2/d [1] L=5-7 Km[1] b=56 m[1] Sy =0.0018[1] I= 730 mm [1] a_L=5.6 m	Brackish water Ca^{2+}: 6.60, Mg^{2+}: 4.10, Na^+: 3.06, K^+: 0.15, HCO_3^-: 2.76, Cl^-: 20.79, SO_4^{2-}: 0.01, NO_3^-: 0.98, pH: 7.29, CEC: 395 meq/l[1] Fresh water Ca^{2+}: 2.16, Mg^{2+}: 0.21, Na^+: 1.21, K^+: 0.02, HCO_3^-: 4.95, Cl^-: 0.36, SO_4^{2-}:0.24, NO_3^-:0.17, PH:7.20

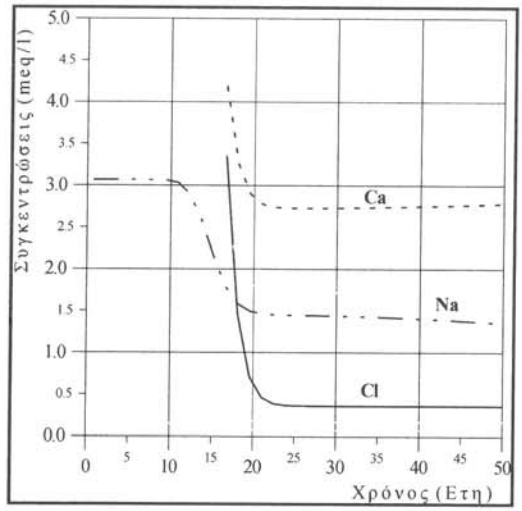
Οι Εικ. 5α και 5β περιγράφουν τις μεταβολές της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού στο τέλος της γραμμής ροής για την χρονική περίοδο από την έναρξη του τεχνητού εμπλουτισμού έως την στιγμή που τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού αποκτήσουν τις συγκεντρώσεις του φρέσκου νερού που εισάγεται στους υδροφόρους. Οπως φαίνεται στην Εικ. 5 τα σχετικώς αδρανή στοιχεία Cl και NO_3 απομακρύνονται σε μικρούς χρόνους. Για την πλήρη απομάκρυνση των στοιχείων Ca, Mg, Na και K που συμμετέχουν στην διαδικασία ιοντοανταλλαγής απαιτείται πολύ μεγαλύτερος χρόνος. Στην εικόνα 5α παρατηρείται μία απότομη μείωση της συγκέντρωσης του Ca στα πρώτα 20 χρόνια από την έναρξη του τεχνητού εμπλουτισμού που ακολουθείται από μια παρόμοια μείωση των συγκεντρώσεων του Mg και του Na. Κατά το στάδιο αυτό οι συγκεντρώσεις του Ca

είναι μικρότερες ακόμα και από αυτές του φρέσκου νερού.

Η απότομη μείωση στις συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών είναι το αποτέλεσμα της αραίωσης του υπόγειου νερού που ακολουθεί αμέσως μετά την εισαγωγή του φρέσκου νερού στους υδροφόρους. Για το ασβέστιο οι μειωμένες συγκεντρώσεις ακόμα και κάτω από αυτές του εισαγόμενου νερού κατά την διάρκεια του εμπλουτισμού, οφείλονται στην αντικατάσταση του Na από το Ca στο σκελετό του υδροφόρου. Στην συνέχεια διαδικασίες εξισορρόπησης των συγκεντρώσεων των στοιχείων αυτών και ιοντοανταλλαγής έχουν ως αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις του Ca και του Mg να αυξάνονται ενώ του Na συνεχίζουν να μειώνονται. Το Na ξεπλαίνεται και αποβάλλεται από το σκελετό του υδροφόρου. Το ίδιο συμβαίνει και με το Mg η σταδιακή απομάκρυνση του οποίου είναι η αιτία των χαμηλών συγκεντρώσεων Ca αφού συνεχίζεται η αντικατάσταση του στο σκελετό του υδροφόρου από το ασβέστιο. Αφού τέλος απομακρυνθούν τα στοιχεία Na, K και Mg οι συγκεντρώσεις Ca παίρνουν τις τιμές του νερού εμπλουτισμού και αυτό επιτυγχάνεται ολοκληρωτικά μετά από 1000 περίπου χρόνια. Οι παραπάνω περιγραφείσες μεταβολές στοιχειοθετούν και τα χαρακτηριστικά χρωματογραφίας που λαμβάνουν συγχρόνως χώρα στους υδροφόρους (Valocchi et al., 1981).



Σχήμα 5α: Υπολογισμένες μεταβολές των συγκεντρώσεων επιλεγμένων ιόντων του υπόγειου νερού σύμφωνα με το σενάριο του τεχνητού εμπλουτισμού.
Figure 5α: Computed changes of the concentration of selected ions of groundwater according to the scenario of artificial recharge



Σχήμα 5β: Υπολογισμένες μεταβολές των συγκεντρώσεων επιλεγμένων ιόντων του υπόγειου νερού σύμφωνα με το σενάριο του τεχνητού εμπλουτισμού, Λεπτομέρεια από το Σχήμα 5[a]
Figure 5β: Computed changes of the concentration of the selected ions of groundwater according to the scenario of artificial recharge – a detail of Figure 5[a]

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία και την ανάλυση των υδροχημικών δεδομένων του Αργολικού πεδίου διαπιστώθηκε ότι τα υπόγεια νερά είναι υποβαθμισμένα λόγω της έντονης αγροτικής δραστηριότητας στη περιοχή καθώς και της επίδρασης της θάλασσας. Οι συγκεντρώσεις των αλάτων είναι υψηλές λόγω θαλάσσιας διείσδυσης με τις τιμές των χλωριόντων να ξεπερνούν κατά τόπους τα 600 mg/l. Λόγω εντατικών λιπάνσεων οι τιμές των συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων είναι επίσης πολύ υψηλές και ξεπερνούν κατά τόπους τα 100 mg/l, ενώ κάτω από συνθήκες οξειδωτικές (υψηλές τιμές διαλελυμένου οξυγόνου (DO) και δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) τα νιτρικά ιόντα συμπεριφέρονται ως αδρανή ιόντα. Από τις προβολές στο αναπτυγμένο διάγραμμα Durov διαπιστώθηκε η παρουσία των Na^+-HCO_3^-, Mg^{2+}-HCO_3^-, Ca^{2+}-HCO_3^-, Na^+-Cl^-, Mg^{2+}-Cl^- και Ca^{+2}-Cl^- υδροχημικών τύπων που αντιστοιχούν σε διαδικασίες ιοντοανταλλαγής. Με την χρήση του λογισμικού PHREEQM εκτιμήθηκε ο χρόνος απορρύπανσης σε ένα υποθετικό σενάριο διακοπής των αντλήσεων και καθολικού τεχνητού εμπλουτισμού (περίπου 730 mm/έτος) λαμβάνοντας υπόψη και το μηχανισμό της ιοντοανταλλαγής. Υπολογίστηκε ότι ο χρόνος απορρύπανσης, για τα μη δραστικά ιόντα κυρίως Cl^- και NO_3^- που εξετάστηκαν, είναι σχετικά μικρός και ανέρχεται σε 18 με 22 έτη περίπου. Το ίδιο συμβαίνει και για την αποκατάσταση των συγκεντρώσεων της κύριας μάζας των

ιόντων Na, Ca, και Mg που εμπλέκονται στο φαινόμενο της ιοντοανταλλαγής. Η πλήρης αποκατάσταση της ποιότητας του υπόγειου νερού σε σχέση με τα στοιχεία αυτά καθυστερεί και γ'αυτό απαιτούνται 1000 χρόνια περίπου. Είναι φανερό ότι για την πλέον πιθανή περίπτωση της μη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού οι χρόνοι φυσικής αποκατάστασης είναι πολύ μεγαλύτεροι (Lambrakis et Kallergis, 2001).

Ευχαριστίες: Η εργασία αυτή υποστηρίχθηκε μερικώς, σε σχέση με τον πρώτο εκ των συγγραφέων από το Πρόγραμμα Καραθεοδωρή της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών. Εκφράζονται θερμές ευχαριστίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ANTONAKOS, A., LAMBRAKIS, N., 2000. Hydrodynamic characteristics and nitrate propagation in Sparta aquifer. Wat. Res. 34, 3977-3986.

APPELO, C. A. J. AND POSTMA, D. 1993. Geochemistry, Groundwater and pollution, 535 pp. (A.A. Balkema), Rotterdam.

BURDON, D.J. & MALZOUM, J. 1958. Some chemical types of groundwater from Syria. UNESCO Symposium. Teheran. Paris, pp. 73-90. Unesco

ΓΙΑΝΝΟΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Π. 2000. Υπόγεια υδραυλική και μαθηματικά μοντέλα στο Αργολικό πεδίο. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, σελ. 362.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. Groundwater, 604pp. (Prentice-Hall, Englewood Cliffs), New Jersey.

ΘΑΝΟΣ Μ. 1994. Παρατηρήσεις – συμπεράσματα από πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων στο Αργολικό πεδίο. Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Τόμος Α: 119-134.

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ, Δ., Παπαπέτρου-Ζαμάνη, Α. 1970. Γεωλογικαί και φυσιογραφικαί έρευναι επί του Αργολικού Πεδίου. Ann. Geol. Pays Hell., XXII, 267-294.

JACOBSHAGEN, V. 1986. Geologie von Griechenland. 363pp. (Gebróder Borntrδger), Berlin-Stuttgart.

JACOBSHAGEN, V., RICHTER, D., MAKRIS, J., BACHMANN, G. H., GIESE, P. & RISCH, H. 1978. Alpidic development and structure of the Peloponnesus. In H. Closs et al. (eds): Alps, Apennines, Hellenides., 38, 415-423.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1991. Επεξεργασία των δεδομένων των χημικών αναλύσεων των νερών. Ορυκτός Πλούτος 74,53-60.

LAMBRAKIS, N., KALLERGIS, G. 2001. Rreaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece. Modelling of groundwater refreshening patterns under natural recharge conditions. Journal of Hydrology, 245,19-31.

LLOYD, W. J. & HEATHCOTE A. J. 1985. Natural inorganic chemistry in relation to groundwater, 250 pp. (Claredon Press), Oxford.

ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΟΟΥ, Ι., ΒΕΤΟΥΛΗΣ, Δ., ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ., ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι., ΛΑΛΕΧΟΣ, Ν., ΚΟΥΝΗΣ, Γ. 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Αργος, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ. 1997. Ανάλυση υδροφόρων συστημάτων στο ετερογενές και παράκτιο πεδίο Ν. Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, σελ. 288.

PARKHURST, D.L., THORSTENSON, D. C., AND PLUMMER, L. N. 1980. PHREEQE- A computer program for geochemical calculations. U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest., No 80-96, 210 pp.

PETALAS C. P., DIAMANTIS, V.J. 1999. Origin and distribution of saline groundwaters in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, northeastern Greece. Hydrogeology Journal, 7 (3), 305-316.

ΠΟΥΛΟΒΑΣΙΛΗΣ, Α., ΚΕΡΚΙΔΗΣ, Π. & ΛΙΑΚΑΤΑΣ, Α. 1993. Λειψυδρία και Αρδεύσεις. Πρακτικά Πανελλήνιου Συνεδρείου ΓΕΩΤΕΕ, Λειψυδρία και Πλυμμήρες, 17-18 Μαρτίου 1992, Θεσσαλονίκη, σελ 59-88.

ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π., ΦΩΤΙΑΔΗΣ, Λ. & ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. 1995. Υδρογεωλογικές δομές ανατολικού ορεινού μετώπου του Αργολικού πεδίου-Φαινόμενα υφαλμύρωσης. Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 3-5 Νοεμβρίου 1995, 380-392, Ηράκλειο.

VALOCCHI, A. J, STREET, R. L. & ROBERTS, P. V. 1981. Transport of ion-exchanging solutes in groundwater: Chromatographic theoryand field simulation, Water Resour. Res., 17, 1517-1521.

ΤΑΒΙΤΙΑΝ, Ι., ΤΗΝΙΑΚΟΣ, Λ. & ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1993, Αξιολόγηση δεδομένων αντλητικών δικιμασιών και υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών των κροκαλοπαγών βορειοδυτικά του Αργολικού πεδίου. Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 24-28 Νοεμβρίου 1993, Πάτρα, Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τόμος Α:387-401, Αθήνα.

ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., ΚΟΥΝΗΣ, Γ., ΒΙΖΟΝ, G. & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ. 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Ναύπλιον, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1827-1834, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001

Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1827-183, 2001
Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΧΩΣΙΓΕΝΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΓΛΑΥΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ (ΒΔ/ΚΗ ΑΧΑΪΑ)*

Δ. ΜΑΝΔΗΛΑΡΑΣ[1], Κ. ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ[1]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προσχωσιγενής υδροφορέας της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού (ΒΔ/κή Αχαϊα) έχει έκταση 25 Km^2. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 583 mm (1988-2000) και η μέση ετήσια θερμοκρασία σε 17,8 °C (σταθμός Πάτρας). Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφορέας ανέρχεται σε ($15,08x10^6$ m^3). Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται περίπου σε 71% του ύψους βροχόπτωσης. Ο μέσος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου ανέρχεται σε $28x10^6$ m^3. Οι ετήσιες απολήψεις για την κάλυψη των υδατικών αναγκών ανέρχονται κατά μέσο όρο την περίοδο 1994-2000 σε $17x10^6$ m^3. Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εντοπίζεται η ζώνη υφαλμύρινσης και διαχωρίζονται τα δείγματα ανάλογα με τον υδροχημικό τους τύπο. Τέλος επισημαίνεται η ανάγκη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού για την ενίσχυση του υδατικού ισοζυγίου και τη βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών.

ABSTRACT

The alluvial aquifer of Glafkos basin extends southest of Patras and it covers 25 Km^2. The average annual precipitation (1988-2000) is 583 mm and the mean annual temperature is 17,8°C. The annual precipitation amounts to $15,08x10^6$ m^3. The evapotranspiration losses are computed to 71% of the precipitation. On the basis of a water-budget method the mean (1988-2000) wet season groundwater recharge is estimated to be $28x10^6$ m^3. Human consumption accounts for $17x10^6$ m^3 for private, public, agricultural and industrial use.

Principal Component Analysis is used to summarise the results of chemical analyses in 61 samples collected from boreholes (October 2000). Thus, the parameters of Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO_3, NO_3, SO_4, NH_3, Fe, pH, EC have been used to investigate. About the 82% of the data variability can be explained using three (3) components. The summarised information is used for finding relationships for samples and seawater. The results indicate a clear discrimination between saples drawn from fresh waters (Ca-HCO_3 type) and brackish waters (Na-Cl type).

Finally, groundwater artificial recharge may be applied boost up water balance and upgrade water quality.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υφαλμύρινση, ισοζύγιο ύδατος, ποιότητα νερού, ανάλυση κύριων συνιστωσών, λεκάνη Γλαύκου, Αχαϊα, Ελλάδα.

KEY WORDS: Seawater intrusion, Groundwater balance, Water quality, Principal Component Analysis, Glafkos basin, Achaia, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη του ποταμού Γλαύκου καλύπτει συνολική έκταση 118 Km^2 και εκτείνεται ΝΑ/κά της πόλης των Πατρών. 25 Km^2 από την παραπάνω έκταση καλύπτουν αλλουβιακές αποθέσεις, που φιλοξενούν ένα σημαντικής δυναμικότητας υδροφόρο ορίζοντα. Τη δεκαετία του 1970 άρχισε η εκμετάλλευση του υδροφόρου αυτού για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της πόλης των Πατρών, καθώς και την κάλυψη των αναγκών για βιομηχανική και αρδευτική χρήση.

Η εντατική εκμετάλλευση σε συνδυασμό με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας (1989-91) είχε ως αποτέλεσμα την ποσοτική μείωση και την ποιοτική υποβάθμιση(Lambrakis, et al., 1997). Αξιοσημείωτο είναι ότι μόνο η Πειραϊκή-Πατραϊκή κατανάλωνε ετησίως κατά μέσο όρο $12x10^6$ m^3 νερού.

Έτσι το 1992 παρατηρήθηκε σημαντική πτώση στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα των προσχωσιγενών απο-

* THE GROUNDWATER BALANCE AND WATER QUALITY OF THE ALLUVIAL AQUIFER OF GLAFKOS BASIN, ACHAIA, GREECE.

1. Παν/μιο Πατρών, 261 10, Ρίο

θέσεων, μετατροπή των αρτεσιανών υδροφόρων σε ελεύθερους και εμφάνιση αρνητικής πιεζομετρίας, καθώς και διείσδυση της θάλασσας έως και απόσταση 3 Km από την ακτή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ταχύτατη αύξηση της συγκέντρωσης των χλωριόντων (περιεκτικότητα 4.000 mg/l) στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων κυρίως της παραλιακής ζώνης (Βουδούρης, 1995).

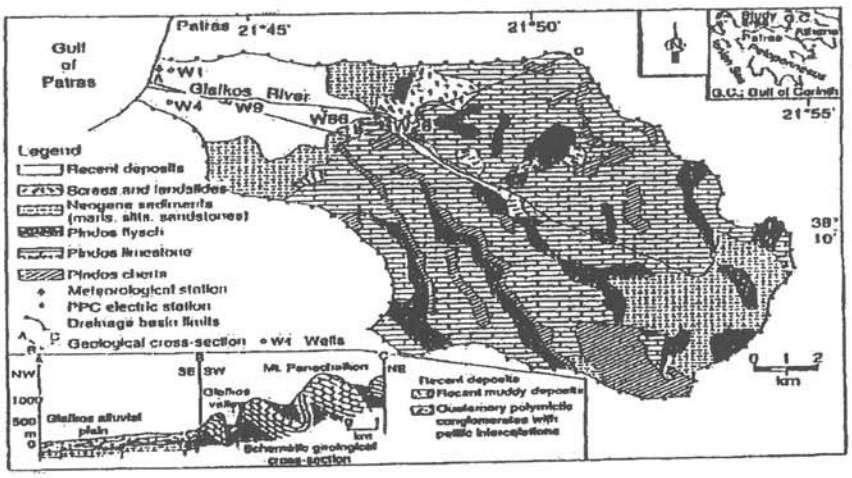
Την περίοδο 1994-95 διακόπηκε η άντληση των παράκτιων δημοτικών γεωτρήσεων και σε συνδυασμό με την αποβιομηχάνιση της περιοχής και τη μετεγκατάσταση μερικών βιομηχανιών στη ΒΙΠΕ Πατρών, καθώς και την αύξηση του φυσικού εμπλουτισμού οδήγησαν στην αναστροφή των δυσμενών επιπτώσεων. Ετσι κατά την περίοδο Μαίου 1999 εμφανίσθηκαν φαινόμενα αρτεσιανισμού στην παράκτια ζώνη έως και 1.2 Km από την ακτή και η περιεκτικότητα των χλωριόντων ανήλθε σε 1.600 mg/l (Μανδηλαράς κ.α., 1999).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καθορισμού του ισοζυγίου ύδατος του προσχωσιγενή υδροφόρου ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού σε συνδυασμό με την ποιότητα των υπόγειων νερών.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης περιλαμβάνει τμήμα της ζώνης Πίνδου. Η ζώνη της Πίνδου αποτελείται από δύο ενότητες: η κατώτερη δομείται από πελαγικούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις ραδιολαριτών και η ανώτερη από φλύσχη, ο οποίος συνίσταται από εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων με παρεμβολές κροκαλοπαγών (Τσόφλιας, 1970, Doutsos et al, 1987).

Το Πλειοτεταρτογενές επικάλυμμα που εμφανίζεται στην παράκτια περιοχή αποτελείται από δύο λιθοστρωματογραφικές ενότητες. Η κατώτερη συνίσταται από αργίλους και άμμους, που αποτέθηκαν σε ένα λιμναίο έως υφάλμυρο περιβάλλον ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια του Πλειοκαίνου έως το Κατώτερο Πλειστόκαινο και η ανώτερη ενότητα από Καλάβριας ηλικίας δελταϊκά και χερσαία κροκαλοπαγή (Ψαριανός, 1951, Zelilidis et al., 1988, Ρόζος, 1989).



Στην Εικ. 1 παρουσιάζεται ένας συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της λεκάνης, καθώς και μια σχηματική γεωλογική τομή.

Εικ. 1.: Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Γλαύκου (Από Lambrakis et al., 1997). Geological map of hydrogeological Glafkos river basin.

Οι αδρομερείς αποθέσεις των τεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης αποτελούν σημαντικούς υδροφόρους ορίζοντες (Βουδούρης κ.ά, 1995, Lambrakis et al., 1997). Οι αλλουβιακές αποθέσεις μπορεί να διακριθούν στην ανώτερη και την κατώτερη ζώνη.

Η ανώτερη ζώνη καλύπτεται επιφανειακά από νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, τα οποία αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κροκαλών και λατυπών, ψηφιτών, άμμων, μαργών και αργίλων και χαλαρών έως ισχυρής συνοχής κροκαλοπαγών. Τα αδρομερέστερα από τα παραπάνω ιζήματα όπως οι κροκάλες, οι λατύπες και οι ψηφίτες, φιλοξενούν τους κύριους υδροφόρους σχηματισμούς.

Η κατώτερη ζώνη καλύπτεται επιφανειακά από τεταρτογενή ιζήματα των οποίων το κοκκομετρικό μέγεθος, λόγω διαλογής του υλικού, μειώνεται αισθητά προς την έξοδο της λεκάνης, όπου επικρατούν λεπτόκοκκα

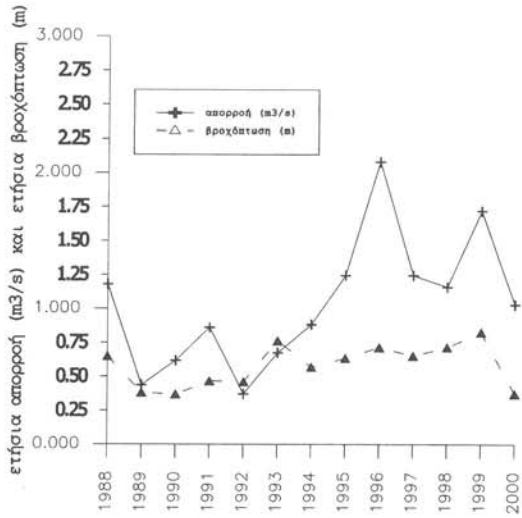
υλικά (άργιλοι, αργιλοϊλύες και μάργες), σε εναλλαγές με αδρομερέστερα υλικά (άμμοι, ψηφίτες και κροκάλες). Η αύξηση του πάχους των αργιλοπηλιτικών στρωμάτων προς την έξοδο της λεκάνης συμβάλλει στη δημιουργία φαινομένων αρτεσιανισμού στους υποκείμενους αδρομερέστερους υδροφόρους σχηματισμούς. Ετσι ο ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας της ανώτερης ζώνης μεταπίπτει σε επάλληλους υπό πίεση υδροφόρους στην κατώτερη ζώνη.

Την περίοδο 1992 παρατηρήθηκαν αρνητικές τιμές της πιεζομετρικής επιφάνειας μέχρι και απόσταση 3 Km στην ενδοχώρα, λόγω υπερεκμετάλλευσης. Την περίοδο Απριλίου 1999 επανεφανίσθηκαν φαινόμενα αρτεσιανισμού στην παράκτια ζώνη έως και 1,2 Km από την ακτή, ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Από την υγρή περίοδο του Απριλίου 1999 μέχρι την ξηρή περίοδο του Νοεμβρίου του ίδιου έτους παρατηρήθηκε μια μέση πτώση στάθμης της τάξης των 5,17 m στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης, η οποία αυξάνεται κατά τη μετάβαση στην ανώτερη ζώνη, όπου η μέση πτώση έφθασε τα 8,4 m.

Η αντίστοιχη μέση πτώση στάθμης μεταξύ της υγρής και ξηρής περιόδου του 2000 ανήλθε σε 1,42 m στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης και σε 2,23 m στις γεωτρήσεις της ανώτερης ζώνης, ενώ ελάχιστες γεωτρήσεις εμφάνιζαν φαινόμενα αρτεσιανισμού σε ένα εύρος 200 m από την ακτή.

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία της περιόδου 1988-2000 του σταθμού της Πάτρας (υψόμετρο 1 m α.ε.θ.) η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 563 mm. Ποσοστό 78% της ετήσιας βροχόπτωσης σημειώνεται κατά την υγρή περίοδο (Οκτώβριος-Μάρτιος). Η περιοχή κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει υποστεί δύο ισχυρές ξηρασίες (1989-92 και 2000). Η βροχοβαθμίδα για τη λεκάνη του Γλαύκου είναι +48,5 mm ανά 100 m (Βουδούρης, 1995). Έτσι το κατώτερο τμήμα του υδροφορέα (μέσο υψόμετρο 20 m και έκταση 9 Km^2) δέχεται ετήσια 573 mm βροχόπτωση ($5,16x10^6$ m^3) και το ανώτερο (μέσο υψόμετρο 120 m και έκταση 16 Km^2) 620 mm ($9,92x10^6$ m^3).



Εικ. 2: Πορεία της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) του σταθμού Πατρών και η ετήσια παροχή του ποταμού Γλαύκου (m^3/sec) στη θέση ΥΗΣ. The fluctuation of the annual precipitation (mm) at the meteorological station of Patras combined with the annual runoff (m^3/sec).

Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφορέας ανέρχεται σε ($15,08x10^6$ m^3).

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στο σταθμό Πατρών ανέρχεται σε 17,8 °C. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στον ίδιο σταθμό χρησιμοποιήθηκαν οι κάτωθι μέθοδοι, που έδωσαν τους εξής συντελεστές πραγματικής εξατμισο-διαπνοής:

Turc (82,7%), Coutagne (80,1%), Penman (92,5%), Thornthwaite (71,3%).

Θεωρώντας τη μέθοδο Thornthwaite πιο αντιπροσωπευτική για την περιοχή έρευνας (Βουδούρης, 1995) προκύπτει ότι, $10,7x10^6$ m^3 (428 mm) νερού ετησίως επανέρχονται στην ατμόσφαιρα. Τα υπόλοιπα $4,38x10^6$ m^3 νερού απορρέουν επιφανειακά ή κατεισδύουν εμπλουτίζοντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Η μέση ετήσια απορροή του ποταμού Γλαύκου, με βάση τις μετρήσεις της ΔΕΗ στον Υδροηλεκτρικό σταθμό, ανέρχεται σε 1,04 m^3/sec (στοιχεία ΔΕΗ), που αντιστοιχεί σε $32,7x10^6$ m^3 νερού. Μέρος από αυτήν την ποσότητα χρησιμοποιείται για την ύδρευση της πόλης των Πατρών και για άρδευση. Επίσης μέρος από την ανωτέρω ποσότητα διηθείται κατά τη διαδρομή του ποταμού προς τη θάλασσα. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι τμήμα του ποταμού Γλαύκου έχει εγκιβωτισθεί σε μήκος 3 Km από την ακτή προς την ενδοχώρα και αυτό επιδρά δυσμενώς στη φυσική αναπλήρωση του προσχωσιγενή υδροφόρου ορίζοντα.

Στην Εικ. 2 παρουσιάζονται η πορεία της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) του σταθμού Πατρών και η ετήσια παροχή του ποταμού Γλαύκου (m^3/sec) στη θέση ΥΗΣ, για την περίοδο 1988-2000.

4. ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ

Οι κύριοι μηχανισμοί τροφοδοσίας του προσχωσιγενή υδροφόρου ορίζοντα είναι:

α) με πλευρική διήθηση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Γλαύκου, που αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα τροφοδοσίας,

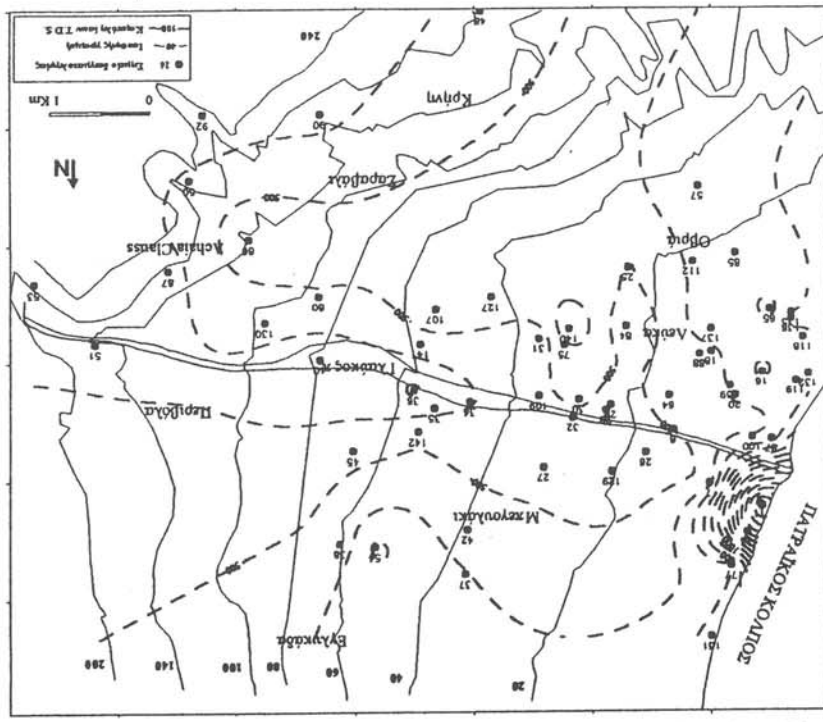
β) με άμεση κατείσδυση του νερού της βροχής διαμέσου των επιφανειακών υδροπερατών στρωμάτων και

γ) με πλευρική μετάγγιση από τους ασβεστολίθους κατάντη του Υδροηλεκτρικού σταθμού, καθώς και στην περιοχή Σαραβαλίου-Κρήνης. Λόγω της τεκτονικής της περιοχής οι μεταγγίσεις νερού από τους καρστικούς υδροφορείς της ανάντη ζώνης προς τον προσχωσιγενή υδροφόρο είναι περιορισμένες.

Η ποσότητα εμπλουτισμού (Q_r) υπολογίζεται από την κάτωθι εξίσωση (Goes, 1999):

$$Q_r = S_y \Delta s A + Q_a + Q_{out}$$

όπου: S_y=η ειδική απόδοση, Δs=η διακύμανση της στάθμης μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου, A=η επιφάνεια του υδροφόρου, Q_a=οι απολήψεις την περίοδο εμπλουτισμού, Q_{out}=οι εκροές από τον υδροφόρο.



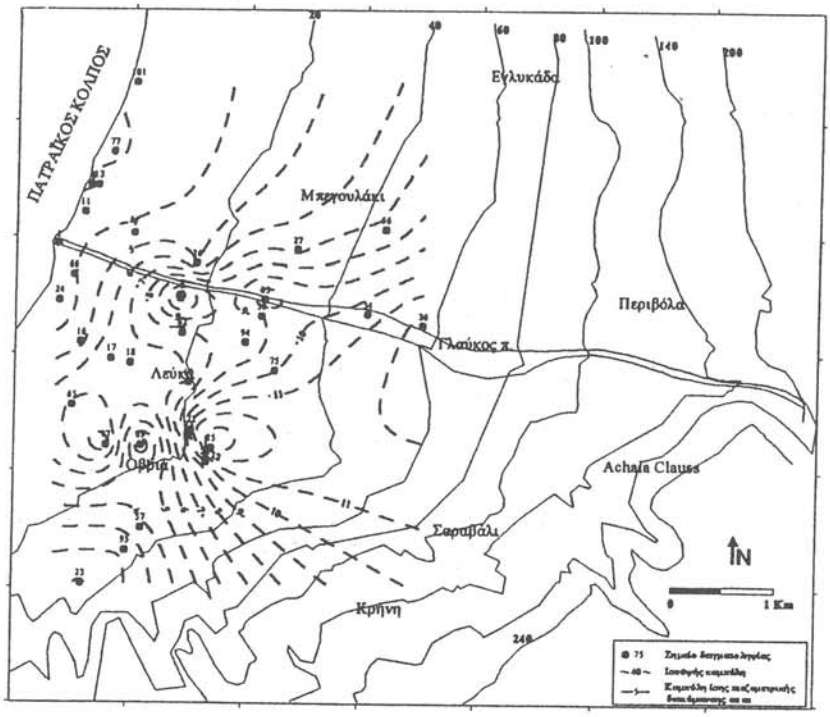
Εικ. 3: Χάρτης T.D.S. της περιόδου Οκτωβρίου 2000. T.D.S. map (October 2000).

Θεωρώντας τις ετήσιες εκροές από την αυτόματη ροή των γεωτρήσεων ίσες με $4,5x10^6$ m^3(περίοδος 1998-2000), τις απολήψεις $5x10^6$ m^3 και μέση διακύμανση της στάθμης 5,17 m στην κατώτερη παράκτια ζώνη (S_y=0,05) και 8,4 m στην ανώτερη ζώνη (S_y=0,12) προκύπτει μέσος ετήσιος εμπλουτισμός του προσχωσιγενή υδροφόρου της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού ίσος με $28x10^6$ m^3 νερού (περίοδος 1998-2000).

Οι ετήσιες απολήψεις από τον προσχωσιγενή υδροφόρο έως την περίοδο 1994 ανέρχονταν συνολικά σε $38x10^6$ m^3. Αυτό οδήγησε σε υποβιβασμό της στάθμης με συνέπεια την ποιοτική υποβάθμιση του υδροφόρου (Λαμπράκης κ.ά, 1997).

Μετά το έτος 1994 μειώθηκαν οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες από τον προσχωσιγενή υδροφόρο για την ύδρευση της πόλης των Πατρών από $15x10^6$ m^3 το 1993 σε $6x10^6$ m^3 το 1999, λόγω εκμετάλλευσης του επιφανειακού νερού του ποταμού Γλαύκου και των υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου της λεκάνης του Χάραδρου, καθώς και μείωση των αναγκών για βιομηχανική χρήση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των απολήψεων από τον προσχωσιγενή υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου και σε συνδυασμό με τις αυξημένες βροχοπτώσεις της περιόδου 1995-1999 και κατά συνέπεια του φυσικού εμπλουτισμού του υδροφόρου, οδήγησε στην άνοδο της στάθμης και στην εμφάνιση φαινομένων αρτεσιανισμού (Μανδηλαράς κ.ά, 1999). Η μέση τιμή των ετήσιων απολήψεων για ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση την περίοδο 1994-2000 ανέρχεται σε $17x10^6$ m^3 νερού.

Η μέση βροχόπτωση που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφορέας ανέρχεται, όπως προαναφέρθηκε, σε $15,08x10^6$ m^3 νερού ετησίως και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε $10,7x10^6$ m^3. Έτσι προκύπτει ότι η σημαντικότερη πηγή τροφοδοσίας αποτελεί η διήθηση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού και επιπλέον μια ποσότητα απορρέει στη θάλασσα τους χειμερινούς μήνες, η αξιοποίηση της οποίας με τη βοήθεια τεχνητού εμπλουτισμού θα συνέβαλε στην ποιοτική αναβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα. Σύμφωνα με παλαιότερες μετρήσεις απορροής στον ΥΗΣ και στην έξοδο του ποταμού Γλαύκου με μυλίσκο προκύπτει ότι κατά μέσο όρο διηθούνται ετησίως $20x10^6$ m^3 νερού (Lamprakis et al., 1997).



Εικ. 4: Χάρτης πιεζομετρικής διακύμανσης της περιόδου Απριλίου-Νοεμβρίου 1999.
Piezometric fluctuation map between April-November 1999.

5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Για τον έλεγχο της ποιότητας των υπόγειων νερών χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων 61 δειγμάτων της περιόδου Οκτωβρίου 2000, που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Από τον χάρτη κατανομής του TDS (Εικ. 3) προκύπτουν δύο ευδιάκριτοι τομείς: η κατώτερη παράκτια ζώνη, όπου οι τιμές του TDS κυμαίνονται από 500-1900 mg/l και η ανώτερη με τιμές που κυμαίνονται από 300-500 mg/l. Από τον χάρτη πιεζομετρικής διακύμανσης περιόδου Απριλίου-Νοεμβρίου 1999 (Εικ. 4) προκύπτει

μείωση του εμπλουτισμού των προσχωσιγενών υδροφόρων με τιμές που κυμαίνονται από 2-8 m στην κατώτερη παράκτια ζώνη και από 6-13 m στην ανώτερη ζώνη.

Ο υδροχημικός τύπος των υπόγειων νερών είναι: Ca-HCO_3 για τα γλυκά νερά της ανώτερης ζώνης και Na-Cl για τα υφάλμυρα νερά της παράκτιας ζώνης. Για τον εντοπισμό της ζώνης υφαλμύρωσης και τη διάκριση των δειγμάτων με βάση τον υδροχημικό τους τύπο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών.

Ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) χρησιμοποιήθηκε για να συνοψίσει τα υδροχημικά δεδομένα που προήλθαν από την ανάλυση 61 δειγμάτων υπόγειου νερού από τον αλλουβιακό υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού. Είναι μια τεχνική που μειώνει τις διαστάσεις (αριθμό μεταβλητών) ενός αρχείου δεδομένων από τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών σε μικρότερο αριθμό κυρίων συνιστωσών.

Αντικειμενικός στόχος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες είναι να εκφρασθεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής διακύμανσης με ένα μικρό αριθμό συνιστωσών, ασυσχέτιστων μεταξύ τους, κάνοντας έτσι εύκολη την ανάλυση των δεδομένων.

Έτσι μέσω των κυρίων συνιστωσών κάθε μία από τις n αρχικές υδροχημικές παραμέτρους-μεταβλητές (Z) εκφράζεται γραμμικά με K (K=j, j<n) ασυσχέτιστες κύριες συνιστώσες, σύμφωνα με τη σχέση:

$$Z_i = a_{i1}K_1 + a_{i2}K_2 + a_{i3}K_3 + \ldots + a_{in}K_j \quad (i=1,2,3,\ldots j)$$

όπου a_{ij} είναι η τιμή του φορτίου της μεταβλητής i στην κύρια συνιστώσα j.

Τα φορτία (loadings) αντιπροσωπεύουν τη σχετική σπουδαιότητα κάθε μεταβλητής στην κύρια συνιστώσα. Αναλυτικά η μέθοδος έχει περιγραφεί από άλλους ερευνητές (Davis, 1986, Buccianti, 1997, Laaksoharju et al., 1999). Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για την επιλογή των κύριων συνιστωσών είναι:

1) Η επιλογή των κυρίων συνιστωσών που σχετίζονται με ιδιοτιμές ?1.
2) Το κριτήριο "Cattell's Scree-test".

Για την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας συντελεστών συσχέτισης. Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα Scree-plot μόνο τρεις (3) κύριες συνιστώσες έχουν ιδιοτιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα και αντιπροσωπεύουν συνολικά το 81,8% της ολικής διακύμανσης. Έτσι επιλέγονται οι τρεις αυτές κύριες συνιστώσες (K_1, K_2, K_3) και καθεμιά υδροχημική παράμετρος-μεταβλητή μπορεί να εκφρασθεί ως γραμμικός συνδυασμός των 3 αυτών κυρίων συνιστωσών. Στον Πίνακα 1 με τη διατήρηση των 3 κυρίων συνιστωσών φαίνονται τα φορτία, που προκύπτουν για κάθε μία μεταβλητή (>0,65).

Η θέση κάθε δείγματος στον χώρο των 3 κυρίων συνιστωσών (the scores) μπορεί να καθορισθεί χρησιμοποιώντας την κάτωθι εξίσωση:

$$Score_i = \beta_1 EC + \beta_2 Ca + \beta_3 Mg + \beta_4 Na + \beta_5 K + \beta_6 HCO_3 + \beta_7 Cl + \beta_8 SO_4 + \beta_9 NO_3 + \beta_{10} pH + \beta_{11} Fe + \beta_{12} NH_3$$

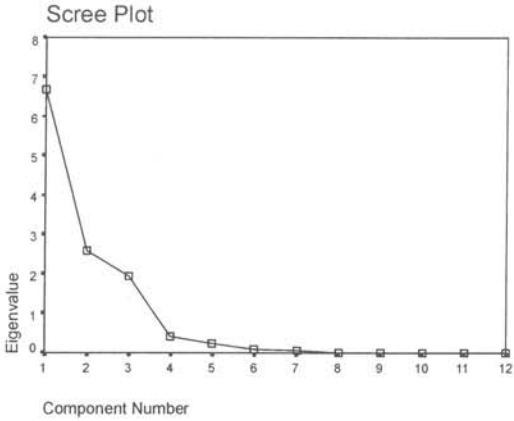
όπου $\beta_1 \ldots \beta_{12}$ είναι τα φορτία κάθε μεταβλητής στην i-οστή συνιστώσα (i=1,2,3).

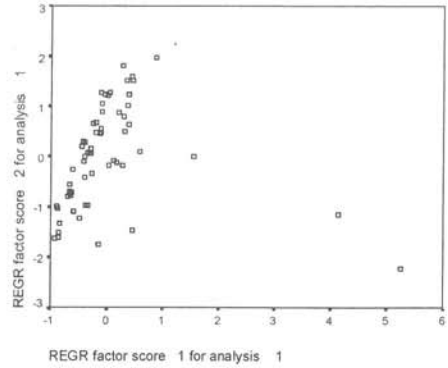
Η πρώτη συνιστώσα εκφράζει το 44,5% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και χαρακτηρίζεται ως παράγοντας αλατότητας, επειδή παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές SO_4 (0,89), Mg (0,76), E.C. (0,97), Cl (0,91), Na (0,92), K (0,83). Η συνιστώσα αυτή συνδέεται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού, που αυξάνει τις τιμές των ανωτέρω παραμέτρων στον υδροφόρο ορίζοντα. Από τη γεωγραφική κατανομή των παραγοντικών της τιμών φαίνεται ότι η κατώτερη παράκτια περιοχή εμφανίζει υψηλά θετικές τιμές μεταξύ 1 και 5 (Εικ. 6). Η κατανομή της συνιστώσας αυτής οριοθετεί τη ζώνη υφαλμύρινσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Η δεύτερη συνιστώσα εκφράζει το 29,9% της ολικής διακύμανσης των δεδομένων και παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές HCO_3 (0,84) και Ca (0,72). Η γεωγραφική κατανομή των τιμών της οριοθετεί την περιοχή, όπου το υπόγειο νερό δεν έχει υποστεί υφαλμύρινση.

Η τρίτη συνιστώσα εκφράζει το 13,4% της ολικής διακύμανσης και παρουσιάζει υψηλά φορτία στις μεταβλητές NH_3 (0,72), NO_3 (-0,65) και Fe (0,89).

Στην Εικ. 5 φαίνεται το διάγραμμα των δύο πρώτων συνιστωσών. Η θέση κάθε δείγματος στο διάγραμμα αυτό καθορίζεται από τον υδροχημικό του χαρακτήρα. Δείγματα από υφάλμυρα νερά βρίσκονται στην περιοχή Α, ενώ αντίθετα τα δείγματα με φρέσκα νερά βρίσκονται στην περιοχή Β.

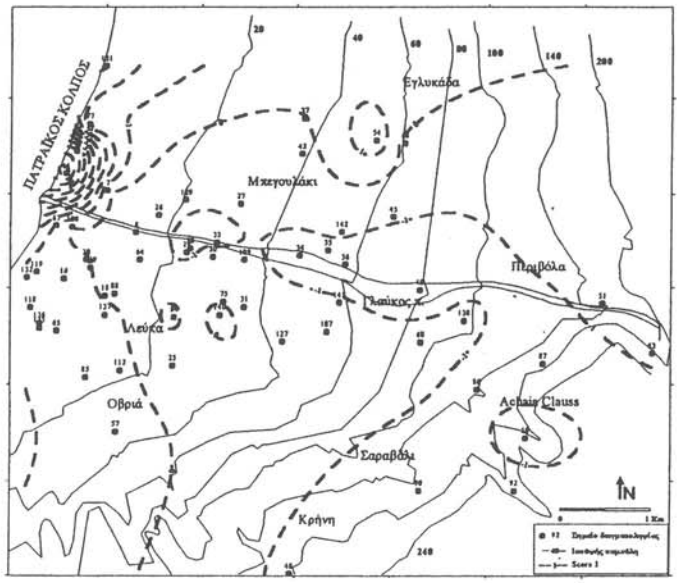




Εικ. 5: Διάγραμμα Cattell και διάγραμμα των δύο πρώτων παραγοντικών φορτίων.
Cattell's Scree plot and Score 1-Score 2 diagram.

Πίν. 1: Παραγοντικά φορτία (>0,65) των 3 κυρίων συνιστωσών (61 δείγματα).

Α/α	Παράμετρος	K1	K2	K3
1	Mg	0,76		
2	Na	0,91		
3	Ca		0,72	
4	K	0,83		
5	Cl	0,91		
6	HCO_3		0,84	
7	NO_3			-0,66
8	SO_4	0,89		
9	NH_3			0,72
10	Fe			0,84
11	EC	0,97		
12	pH			



Εικ. 6: Χάρτης κατανομής των scores της 1ης κύριας συνιστώσας.
Distribution of K_1 scores.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μέσος ετήσιος συνολικός όγκος νερού που δέχεται ο προσχωσιγενής υδροφορέας της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού από βροχοπτώσεις, έκτασης 25 Km^2, ανέρχεται σε $15{,}08x10^6$ m^3. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται σε $10{,}7x10^6$ m^3 (71% του ύψους βροχόπτωσης).

Ο μέσος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου (1998-2000) ανέρχεται σε $28x10^6$ m^3. Οι ετήσιες απολήψεις για την κάλυψη των υδατικών αναγκών ανέρχονται κατά μέσο όρο την περίοδο 1994-2000 σε $17x10^6$ m^3.

Ο υδροχημικός τύπος των υπόγειων νερών είναι: Ca-HCO_3 για τα γλυκά νερά της μεσαίας ζώνης και Na-Cl για τα υφάλμυρα νερά της παράκτιας ζώνης. Με την εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εντοπίζεται η ζώνη υφαλμύρωσης και διακρίνονται τα δείγματα με βάση τον υδροχημικό τους τύπο.

Η διακοπή των αντλήσεων στις γεωτρήσεις της παράκτιας ζώνης από το 1994-95 και μετά συνέβαλαν στην αναστροφή της ποσοτικής μείωσης και της ποιοτικής υποβάθμισης που είχε παρατηρηθεί κατά την περίοδο 1989-1993. Τέλος επισημαίνεται η ανάγκη εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με την αξιοποίηση των χειμερινών απορροών για τη γρηγορότερη απορρύπανση του υδροφόρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BUCCIANTI A., 1997, Multivariate analysis to investigate Cl distribution in Rocks from different settings. *Mathematical Geology*, 29, No. 3.

ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., (1995): *Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ/κού τμήματος του νομού Αχαΐας*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.

ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1995): *Υδρογεωλογική έρευνα και υδραυλικές παράμετροι των πλειοτεταρτογενών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής της πόλης των Πατρών*. Πρακτικά 3ου Υδρογεωλογικού συνεδρίου.

DAVIS J. C., 1987, *Statistics and analysis in geology*. 2nd edition. John Wiley and Sons, N.Y 656 p.

DOUTSOS, T., KONTOPOULOS, N. and FRYDAS, D., (1987): Neotectonic evolution of Northwestern-Continental Greece. *Geolog. Rundschou* 76/2, 433-450. Stuttgart.

GOES, B.,J.M., (1999): Estimate of shallow groundwater recharge in the Hadejia-Nguru wetlands, semi-arid northeastern Nigeria. *Hydrog. Journal,* 7:294-304.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΝΟΚΑΣ-ΖΩΓΡΑΦΟΣ, Η., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1997): *Προβλήματα υφαλμύρινσης παράκτιων υδροφόρων λόγω κακής διαχείρισής τους*. Πρακτικά 3ου Συνεδρίου ΕΕΔΥΠ.

LAAKSOHARJOU, M., SKARMAN, C. SKARMAN, E., (1999): Multivariate mixing and mass balance calculations, a new tool for decoding hydrogeochemical information. *Applied Geochemistry,* 14, 861-871.

LAMBRAKIS, N., VOUDOURIS, K., TINIAKOS, L., KALLERGIS, G., (1997): Impacts of drought and overpumping on the Quaternary aquifers of the Glafkos basin (Patras region, W. Greece). *Envir. Geology*, 29 (3/4) February 1997, pp. 209-216.

ΜΑΝΔΗΛΑΡΑΣ, Δ., ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ., ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., (1999): *Διακύμανση της ποιότητας και της στάθμης των υπόγειων νερών στον προσχωσιγενή υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του ποταμού (ΒΔ/κή Αχαΐα)*. Πρακτικά 5ου Υδρογεωλ. Συνεδρίου. Κύπρος.

ΡΟΖΟΣ, Δ., (1989): Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας-Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων. Διδ. διατριβή. Παν. Πατρών.

ΤΣΟΦΛΙΑΣ, Π., (1970): Γεωλογική κατασκευή του βορειότερου τμήματος της Πελοποννήσου (νομού Αχαΐας). *Ann. Geol. Pays Hellen*. XI, 554-651.

ΨΑΡΙΑΝΟΣ, Π., (1951): Αι πλειοκαινικαί αποθέσεις της Αχαΐας. *Ann. Geol. des Pays Hell.* III, 193-214.

ZELILIDIS, A., KOUKOUVELAS, I., and DOUTSOS, T., (1988): Neogene paleostress changes behind the foreact fold belt in the Patraikos Gulf area, W. Greece.N. *Jb. Geol. Palaont. Mh.* 311-325. Stuttgart.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1835-1842, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1835-1842, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ*

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ[1], Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ[1], Δ. ΘΕΟΧΑΡΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα να είναι ο χώρος στον οποίο υπάρχουν πολλά και μεγάλα ποτάμια (Αχελώος, Μόρνος, Εύηνος), πολλές λίμνες μεταξύ των οποίων και η μεγαλύτερη στην Ελλάδα (Τριχωνίδα) και παρ' όλα αυτά υπάρχουν περιοχές με προβλήματα ανεπάρκειας ύδατος ύδρευσης όλο το χρόνο ή ανεπάρκειας κατά την θερινή περίοδο. Για να γίνει σωστή διαχείριση του υδατικού δυναμικού του νομού, απαραίτητη είναι η γνώση της χωροχρονικής κατανομής των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Εφόσον τα στοιχεία αυτά συνδυαστούν με τα στοιχεία που αφορούν το πληθυσμιακό δυναμικό, το γεωλογικό υπόβαθρο, κλπ, με τη χρήση ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών μπορούν να ληφθούν οι βέλτιστες αποφάσεις για την διαχείριση του υδατικού δυναμικού. Η εφαρμογή τους στο νομό Αιτωλοακαρνανίας έδειξε ότι τα προβλήματα προκύπτουν κυρίως από την κακή ή ανύπαρκτη διαχείριση των υδάτινων πόρων και δευτερευόντως στο γεωλογικό υπόβαθρο.

ABSTRACT

In the Aetoloacarnania Prefecture there are many and large rivers (Aheloos, Mornos, Evinos) and many lakes, among them the Trihonis lake which is the largest lake in Greece. However, there are areas within the prefecture that are facing water supply or prefecture water resources problems.

In order for the proper management of the prefecture's water resources, the knowledge of the distribution of water supply and irrigation needs is necessary. The combination of these data with population density data, geological basement etc. and by using a GIS software, the best decisions can be taken for the management of water resources.

The application of the above mentioned in the case of Aetoloacarnania showed that the problems caused are due to the bad or non-existing management of the water resources and secondarily to the geological basement.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αιτωλοακαρνανία, Ελλάδα, ύδρευση, διαχείριση, Γ.Σ.Π., βάσεις δεδομένων, γεωλογία.
KEY WORDS: Aetoloacarnania, Greece, water supply, management, GIS, data base, geology.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό ότι το νερό σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί φυσικό πόρο σε ανεπάρκεια. Τα τελευταία χρόνια ακούγεται πολύ συχνά ο όρος λειψυδρία, ο οποίος αναφέρεται στην αδυναμία κάλυψης των αναγκών σε νερό σε μία συγκεκριμένη χρονικά περίοδο. Ο όρος σχετίζεται όχι μόνο με την αύξηση των αναγκών, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών διαβίωσης, αλλά και με τις κλιματικές συνθήκες των τελευταίων ετών με την επακόλουθη μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Το νερό επίσης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρά τόσο στις συνθήκες διαβίωσης όσο και στην ανάπτυξη των κοινωνιών αφού η έλλειψή του οδηγεί στον θάνατο ανθρώπων, σε κινδύνους για την δημόσια υγεία, σε καταστροφή των καλλιεργειών, κλπ.

Επομένως σημαντικός παράγοντας δεν είναι μόνο η ποσότητα του νερού αλλά και η ποιότητά του.

Γνωρίζοντας τις ανάγκες μιας περιοχής σε νερό και συνεκτιμώντας τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες και την αναπτυξιακή προοπτική μεσο-μακροπρόθεσμα, θα μπορούν να προγραμματίζονται συγκεκριμένες ενέργειες (μελέτες, έργα υποδομής, κλπ) λαμβάνοντας υπόψη το κόστος και την απόδοση των έργων σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι δεν θα παρατηρείται το φαινόμενο να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται

* WATER SUPPLY NEEDS OF THE AETOLOACARNANIA PREFECTURE (GREECE)

1. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μιου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784, Αθήνα Email: mariolakos@geol.uoa.gr
2. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μιου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, Email: fountoulis@geol.uoa.gr
3. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μιου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784, Αθήνα, Email: dtheocharis@geol.uoa.gr

έργα με τεράστιο κόστος χωρίς να έχει αξιοποιηθεί το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό μιας περιοχής. Η εφαρμογή των σκέψεων αυτών πραγματοποιήθηκε στον νομό Αιτωλοακαρνανίας.

Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε βάση δεδομένων όπου καταγράφηκαν στοιχεία που αφορούν τις ανάγκες του νομού όπως κατανάλωση ύδατος ύδρευσης και άρδευσης, πηγές ύδατος ύδρευσης και άρδευσης, εκτάσεις καλλιεργειών, στοιχεία δικτύων ύδρευσης, πληθυσμιακά δεδομένα, κλιματικά δεδομένα, κλπ.

Η ενσωμάτωση των παραπάνω σ' ένα ολοκληρωμένο σύστημα λογισμικού, το οποίο περιλαμβάνει την βάση δεδομένων και χαρτογραφικές πληροφορίες, μας δίνει την δυνατότητα για:

- Άμεση εικόνα των αναγκών,
- Ταχεία εκτίμηση της κατάστασης του υδατικού δυναμικού της περιοχής ποιοτικά και ποσοτικά,
- Αξιολόγηση των συνεπειών των αποφάσεων που αφορούν πιθανά μελλοντικά σενάρια εξέλιξης της κατάστασης τόσο λόγω φυσικών μεταβολών όσο και λόγω ανθρωπογενών δράσεων, και
- Βελτιστοποίηση της λήψης των κατάλληλων μέτρων για την ορθολογική διαχείριση της ποιότητας σε συνδυασμό με την ποσότητα των υδάτων της περιοχής στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης των κοινωνικών και οικονομικών μεγεθών καθώς και εκείνων του φυσικού περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων της περιοχής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες της εργασίας ελήφθησαν σαν βάση οι δήμοι και οι κοινότητες του νομού Αιτωλοακαρνανίας διότι πραγματοποιήθηκε πριν από τον νόμο «Καποδίστρια». Για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την ομαδοποίηση των προβλημάτων χρησιμοποιήθηκαν σαν ευρύτερο σύνολο οι τότε εδαφικές περιφέρειες, οι οποίες σε γενικές γραμμές μετεξελίχθηκαν στους καποδιστριακούς δήμους.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο θεμέλιος λίθος για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων είναι η γνώση αφενός των αναγκών και αφετέρου του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού. Για τη συγκέντρωση στοιχείων σχετικά με τις σημερινές συνθήκες ύδρευσης καταρτίστηκε ερωτηματολόγιο το οποίο διανεμήθηκε σε όλους τους δήμους και τις κοινότητες του νομού Αιτωλοακαρνανίας προκειμένου να το απαντήσουν. Στόχος αυτής της ενέργειας ήταν να γνωρίσουμε τις ανάγκες όπως έχουν καταγραφεί σε τοπικό επίπεδο και στην συνέχεια να γίνουν ομαδοποιήσεις σε ευρύτερες ομάδες – περιφέρειες με σκοπό την αντιμετώπιση των όποιων προβλημάτων συνολικά σε επίπεδο νομού και όχι αποσπασματικά σε τοπικό, γιατί τα προβλήματα της ύδρευσης χρειάζονται συνολική αντιμετώπιση σε μεγαλύτερες ενότητες στη βάση των υδρολογικών – υδρογεωλογικών ενοτήτων.

Οι πιο σημαντικές πληροφορίες που ζητήθηκαν από τις τοπικές αρχές ήταν οι ακόλουθες:

1. Πληθυσμιακά στοιχεία (μόνιμος πληθυσμός, πληθυσμός θέρους, τάσεις)
2. Κατανάλωση ύδατος (ποσότητα ύδατος ύδρευσης, επάρκεια, εκτίμηση μεγέθους ανεπάρκειας)
3. Ποιότητα ύδατος και έλεγχοι ποιότητας
4. Προέλευση ύδατος ύδρευσης (πηγές, γεωτρήσεις, πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, στοιχεία παροχών, αντλήσεων, κλπ)
5. Δίκτυο ύδρευσης
6. Άρδευση (αρδεύσιμες εκτάσεις, κατανάλωση, επάρκεια, προέλευση ύδατος άρδευσης)
7. Βιομηχανικές – τουριστικές εγκαταστάσεις

Το σύνολο των πληροφοριών οργανώθηκε σε βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία.

Από το σύνολο των 214 δήμων και κοινοτήτων του νομού απάντησαν στο ερωτηματολόγιο 143 που αντιστοιχεί σε ποσοστό 67% του συνόλου. Οι δήμοι και οι κοινότητες που απάντησαν αντιπροσωπεύουν πληθυσμό της τάξης των 168.496 κατοίκων, σύμφωνα με την απογραφή του έτους 1991, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 74% του συνολικού πληθυσμού του νομού. Από τις απαντήσεις προέκυψε ότι 73 από τους δήμους και τις κοινότητες παρουσιάζουν πλήρη επάρκεια ύδατος ύδρευσης που αντιστοιχεί σε ποσοστό 51% επί των απαντήσεων και 34% επί του συνόλου του νομού, 57 από τους δήμους και τις κοινότητες παρουσιάζουν ανεπάρκεια κατά την θερινή περίοδο που αντιστοιχεί σε ποσοστό 49% των απαντήσεων και 27% του συνόλου, 13 από τους δήμους και τις κοινότητες παρουσιάζουν ανεπάρκεια σε όλο το έτος που αντιστοιχεί σε ποσοστό 9% των απαντήσεων και 6% του συνόλου, ενώ δεν γνωρίζουμε τι συμβαίνει στο υπόλοιπο 33% του συνόλου το οποίο δεν απάντησε. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ποσοστό του 67% που απάντησαν στο ερωτηματολόγιο είναι πολύ ικανοποιητικό για τέτοιου είδους έρευνες δεδομένου ότι η εμπειρία έχει δείξει ότι απαντάει το 35-40%.

Ακολούθως έγινε επεξεργασία:

α) πληθυσμιακών δεδομένων της Ε.Σ.Υ.Ε. σε βάθος χρόνου 50 ετών και κατασκευάστηκαν διαγράμματα τάσης της εξέλιξης του πληθυσμού για τα επόμενα 30 χρόνια τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο

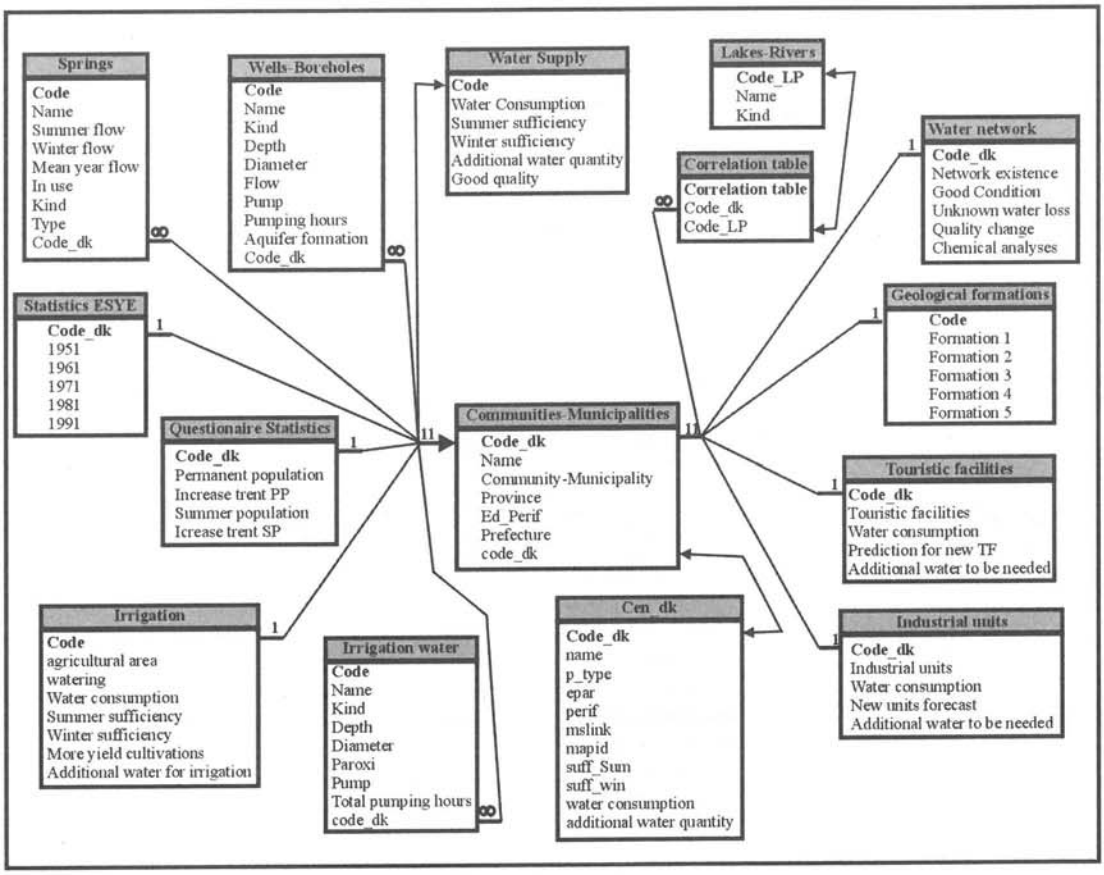
περιφερειών.

β) κλιματικών δεδομένων

γ) γεωλογικών στοιχείων

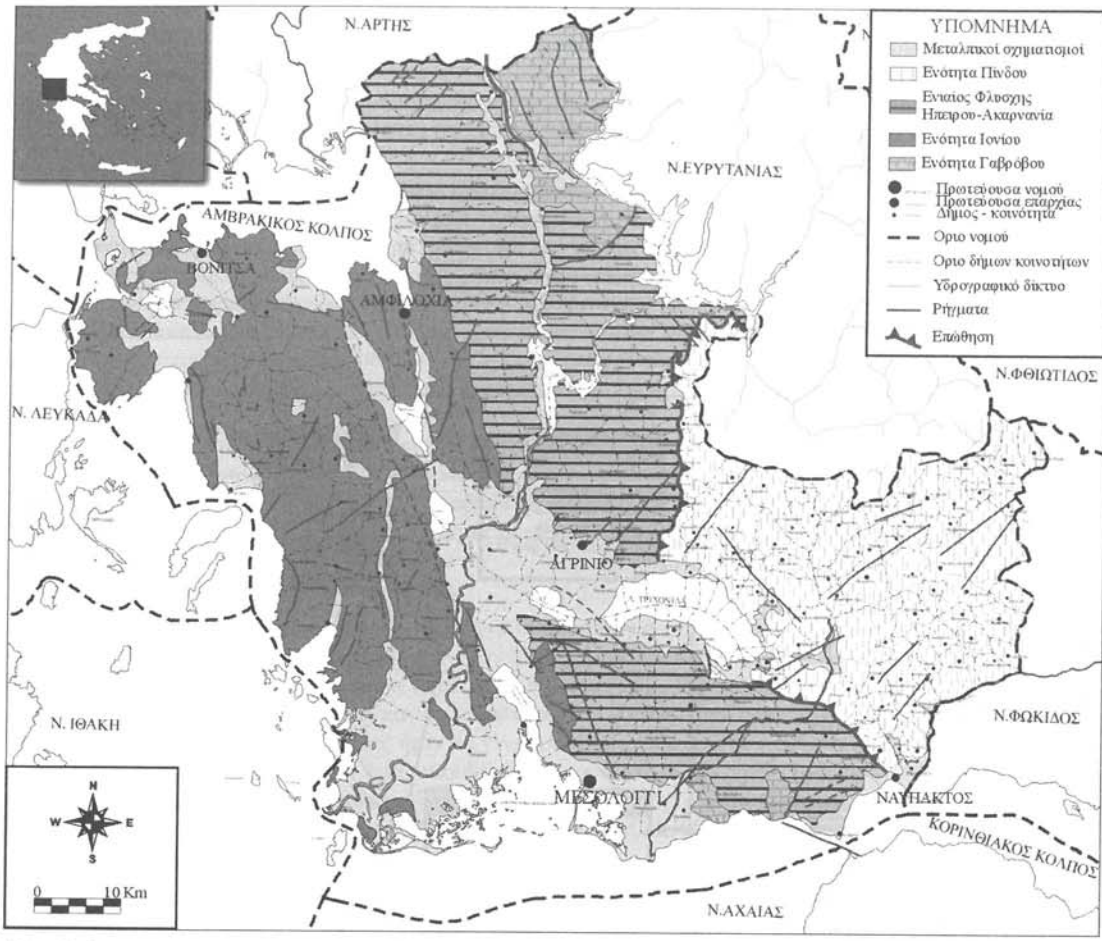
Εκτός από την βάση δεδομένων αναγκαία προϋπόθεση για την παραγωγή θεματικών χαρτών είναι η ύπαρξη ψηφιοποιημένων χωρικών (spatial) δεδομένων όπως ισοϋψείς, ακτογραμμή, υδρογραφικό δίκτυο, τοπωνύμια, γεωλογικά όρια, κλπ.

Για τις ανάγκες της εργασίας ψηφιοποιήθηκαν γεωγραφικά δεδομένα από τον χάρτη του Νομού Αιτωλοακαρνανίας κλίμακας 1:250.000 της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας (Ε.Σ.Υ.Ε.) επειδή απεικονίζονταν τα διοικητικά όρια των δήμων και κοινοτήτων του νομού. Για την ψηφιοποίηση των γεωλογικών δεδομένων σ' αυτή την φάση της εργασίας επιλέχθηκε ο γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) (Μπορνόβας & Ροντογιάννη – Τσιαμπάου 1983).



Εικ. 1. Η σχεσιακή δομή οργάνωσης της βάσης δεδομένων
Fig. 1. The relational structure of the database.

Η ψηφιοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων συνδυάστηκε και με την τοποθέτηση της απαραίτητης πληροφορίας στην βάση δεδομένων, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση της χωρικής πληροφορίας με την περιγραφική. Στην **Εικ. 1** απεικονίζεται η σχεσιακή δομή οργάνωσης της βάσης δεδομένων. Σαν βασική μονάδα θεωρήθηκε ο κάθε δήμος ή κοινότητα, ο οποίος απέκτησε έναν κωδικό αριθμό που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε τόσο για την σύνδεση με την χωρική πληροφορία όσο και για την επεξεργασία της περιγραφικής.



Εικ. 2. Οι γεωτεκτονικές ενότητες που δομούν τον νομό Αιτωλοακαρνανίας (τροποποιημένο από Μπορνόβας & Ροντογιάννη–Τσιαμπάου 1983).

Fig. 2. Map showing the geotectonic units occurring in Aetoloacarnania Prefecture (Modified from Bornovas & Rodoyanni-Tsiabaou 1983).

Σαν πλατφόρμα εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών MGE 7.01 της εταιρείας INTERGRAPH το οποίο χρησιμοποιεί για σχεδιαστική (CAD) πλατφόρμα το MICROSTATION της εταιρείας BENTLEY. Για την βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η ACCESS της MICROSOFT.

Από την επεξεργασία των δεδομένων της βάσης και των γεωγραφικών πληροφοριών εδάφους παρήχθησαν διάφοροι θεματικοί χάρτες. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι: Επάρκειας ύδατος ύδρευσης (**Εικ. 3**), Ποιότητας ύδατος ύδρευσης, Κατανομής πληθυσμού για τα τελευταία 50 έτη, Γεωλογικός, Γεωτεκτονικών ενοτήτων (**Εικ. 2**),κλπ.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στον νομό Αιτωλοακαρνανίας απαντούν αλπικές ενότητες και μεταλπικοί σχηματισμοί (**Εικ. 2**). Από τις αλπικές γεωτεκτονικές ενότητες των ελληνίδων εμφανίζονται η ενότητα της Πίνδου, η ενότητα του Γαβρόβου και η Ιόνιος ενότητα (BP Co Ltd 1971).

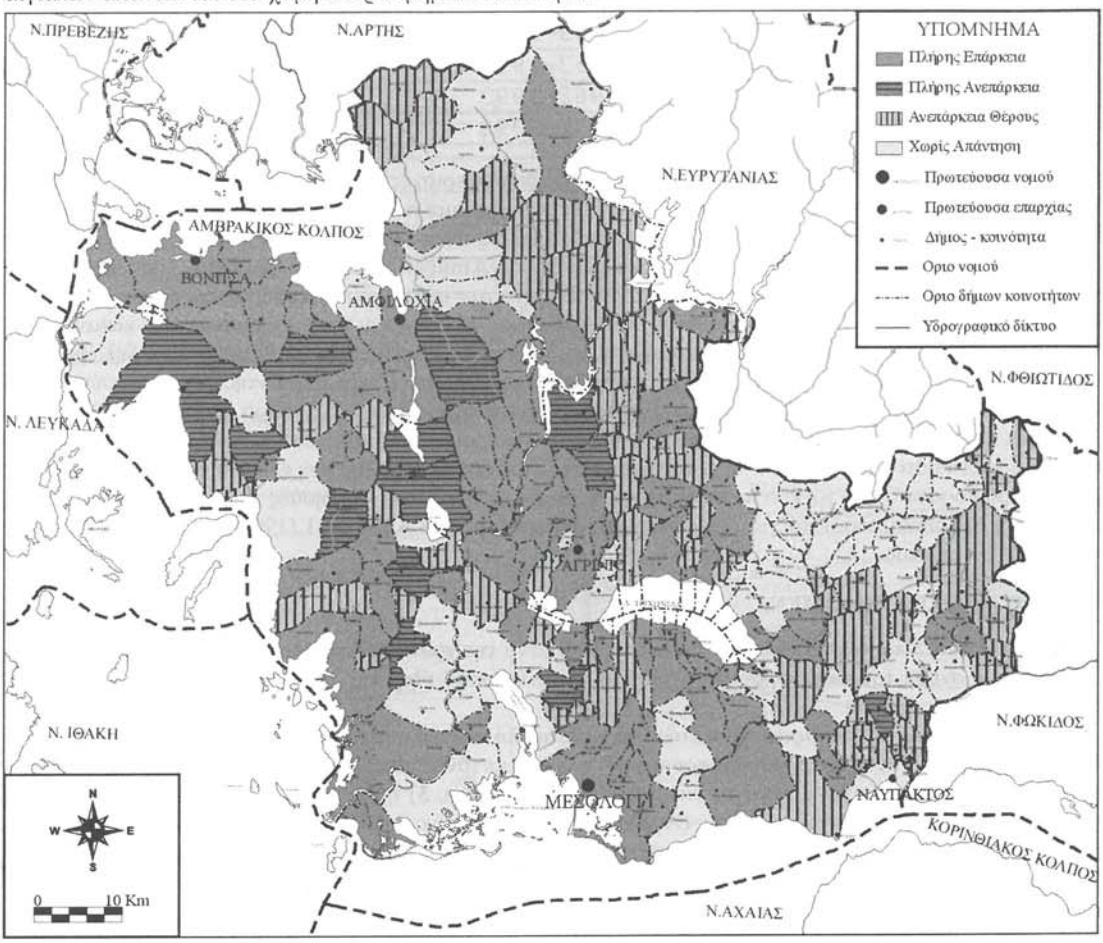
Ενότητα Πίνδου Η ενότητα Πίνδου απαντάται γεωγραφικά στο Ανατολικό τμήμα του νομού και αποτελείται από πελαγικά ιζήματα. Το δυτικό όριο της εμφάνισης είναι γενικά η νοητή γραμμή Ναύπακτος - το ανατολικό τμήμα της Τριχωνίδας και τα ανατολικά περιθώρια της λίμνης των Κρεμαστών. Τα είδη των πετρωμάτων διακρίνονται σε ανθρακικά (κυρίως λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι), πυριτικά (ραδιολαρίτες) και κλαστικά

(πηλίτες, ψαμμίτες, κλπ). Τα πετρώματα αυτά είναι έντονα πτυχωμένα και λεπιωμένα.

Ενότητα Γαβρόβου Η ενότητα Γαβρόβου εμφανίζεται γεωγραφικά δυτικά της ενότητας Πίνδου και καταλαμβάνει το κεντρικό κομμάτι του Νομού. Αποτελείται κυρίως από φλύσχη αλλά υπάρχουν και παρεμβολές νηριτικών ασβεστόλιθων τόσο προς το βορρά όσο και προς το νότο. Η κύρια εμφάνιση του φλύσχη παρατηρείται στο σύγκλινο μεταξύ της Κλόκοβας και της Βαράσοβας και την προς βορά προέκτασή του.

Ιόνιος Ενότητα Η Ιόνιος ενότητα καταλαμβάνει το δυτικό τμήμα του νομού. Το όριό της είναι γενικά η νοητή γραμμή μεταξύ του Αγρινίου και των υψωμάτων της Βαράσοβας. Τα είδη των πετρωμάτων διακρίνονται σε ανθρακικά (νηριτικοί ασβεστόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι με κονδύλους πυριτιόλιθων και δολομίτες), εβαπορίτες και φλύσχη. Η μεγαλύτερη εμφάνιση των εβαποριτών παρατηρείται κατά μήκος μιας ζώνης από την κοιλάδα του Κάτω Αχελώου μέχρι τον Αμβρακικό κόλπο.

Μεταλπικοί Σχηματισμοί Οι μεταλπικοί σχηματισμοί έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω στο καλά διαμορφωμένο παλαιοανάγλυφο των αλπικής ηλικίας πετρωμάτων. Αποτελούνται από λιμναίες, θαλάσσιες και χερσαίες φάσεις. Η λιμναία φάση αντιπροσωπεύεται από μάργες, λιγνίτες και ασβεστόλιθους δυτικά και βόρεια της λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού. Προσχώσεις του Πλειστοκαίνου κροκάλες αναβαθμίδων και στρώματα αιγιαλών απαντώνται στα χαμηλότερα τμήματα του Νομού.



Εικ. 3. Χάρτης επάρκειας ύδατος ύδρευσης του νομού Αιτωλοακαρνανίας.
Fig. 3. Water supply adequacy map of Aetoloacarnania.

4. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στον **Πίνακα 1** παρουσιάζεται ο μέσος όρος του ετήσιου ύψους υετού για μεγάλα χρονικά διαστήματα από το 1931 έως το 1995, από διάφορους σταθμούς που βρίσκονται εντός αλλά και εκτός των ορίων του νομού.

Πίνακας 1. Ύψος υετού (Table 1: Rainfall data)

Σταθμός	Χρονική διάρκεια	Μέσος όρος ετήσιου ύψους υετού (σε mm)
Αγρίνιο (ΕΜΥ)	1931-1995 (ελλιπής χρονοσειρά)	915,9
Ανάληψη (ΥΠΕΧΩΔΕ)	1963-1986	1275,8
Πλάτανος (ΥΠΔΕ)	1952-1993	1504,8
Αράχωβα (ΔΕΗ)	1962-1993	1809,9
Γραμμένη Οξυά (ΔΕΗ)	1962-1993	1226,9
Γρηγόριο (ΥΠΔΕ)	1962-1993	1793,5
Δρυμώνα (ΔΕΗ)	1971-1993	1293,9
Τρίκορφο (ΥΠΔΕ)	1962-1993	1122,8
Δαφνού (ΥΠΔΕ)	1963-1993	1353,8
Πενταγιοί (ΥΠΔΕ)	1963-1993	1378,5
Λιδωρίκι (ΕΜΥ)	1962-1993	980,9
Ναύπακτος (ΥΠΔΕ)	1962-1993	828,6

Οι σταθμοί που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα (πεδινές περιοχές - Αγρίνιο, Ναύπακτος) παρουσιάζουν το χαμηλότερο μέσο όρο ύψους υετού ανά έτος, αντίθετα οι σταθμοί που βρίσκονται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 500 μέτρων (ορεινές περιοχές) παρουσιάζουν μέσο ετήσιο ύψος υετού που φτάνει τα 1800 mm.

Ο μέσος όρος από τους σταθμούς του **Πίνακα 1** είναι 1290,4 mm/έτος. Από το ύψος υετού γίνεται σαφές ότι υπάρχουν σημαντικές βροχοπτώσεις, οι οποίες μας δίνουν έναν ετήσιο όγκο νερού της τάξης των 6,917 Km^3 που πέφτει στον νομό, το εμβαδόν του οποίου είναι 5.362 Km^2. Το ύψος του ύδατος ύδρευσης που καταναλώνεται στο νομό ανά έτος, όπως δηλώθηκε στα ερωτηματολόγια, είναι της τάξης των $19*10^6$ m^3 ενώ δηλώθηκε ότι απαιτείται ένα ποσό της τάξης των $2,5*10^6$ m^3 επιπλέον. Επειδή δεν υπήρχαν οι απαντήσεις από το σύνολο του νομού υπολογίστηκαν οι ανάγκες ύδατος ύδρευσης με δύο τρόπους: α) με τα 520 λίτρα ημερησίως, που είναι η ποσότητα που έχει υπολογιστεί ότι καταναλώνει ο μέσος κάτοικος της Αθήνας (ΥΠΕΧΩΔΕ 1990), από τα οποία προκύπτει ότι οι ανάγκες σε νερό του νομού ανά έτος είναι της τάξης των $43,5*10^6$ m^3 που είναι σαφώς μεγαλύτερη ποσότητα από τις πραγματικές ανάγκες, και β) με τα 4 λίτρα ημερησίως καθαρού νερού, που είναι η ελάχιστη αποδεκτή ποσότητα για έναν άνθρωπο σύμφωνα με την Agenda 21 (1992), από τα οποία προκύπτουν $3,5*10^6$ m^3/έτος.

5. ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στον **Πίνακα 2** παρουσιάζονται πληθυσμιακά δεδομένα της χρονικής περιόδου 1951 – 1991 ανά επαρχία καθώς και η σχέση του πληθυσμού του νομού με τον πληθυσμό όλης της χώρας (ΕΣΥΕ 1955, 1962, 1972, 1982,1994).

Από τον **Πίνακα 2** δεν παρατηρείται αξιόλογη μεταβολή στον πληθυσμό του νομού. Όπως φαίνεται στην **Εικ. 4** η τάση συμμετοχής του πληθυσμό του νομού σε σχέση με τον πληθυσμό της χώρας είναι αρνητική. Ουσιαστική αύξηση παρατηρείται μόνο στην επαρχία Τριχωνίδας (**Εικ. 5**) η οποία οφείλεται στην μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις (Αγρίνιο, Αγ. Κωνσταντίνος). Σημαντική μείωση παρατηρείται στις κοινότητες του νομού Ναυπακτίας. Ο πληθυσμός αυτός όμως δεν μετακινείται στους δήμους της περιοχής (Ναύπακτος, Αντίρριο) αλλά προς άλλα αστικά κέντρα, όπως φαίνεται από τον πίνακα.

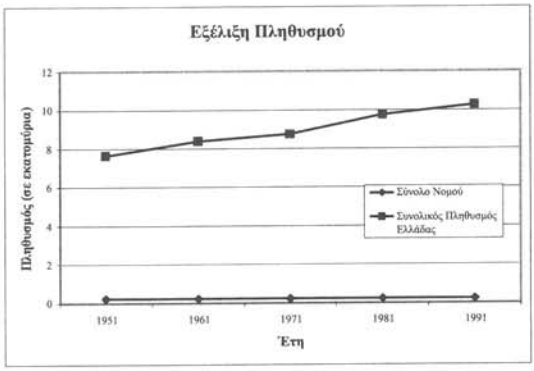
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα να είναι ο χώρος από τον οποίο υδρεύεται ο νομός Αττικής (Μόρνος, Εύηνος), εκβάλλουν μεγάλα ποτάμια (Αχελώος, Μόρνος, Εύηνος), υπάρχουν πολλές λίμνες και η μεγαλύτερη της Ελλάδας (Τριχωνίδα), παρ' όλα αυτά υπάρχουν περιοχές με προβλήματα πλήρους ανεπάρκειας ύδατος ή μερικής ανεπάρκειας κατά την θερινή περίοδο.

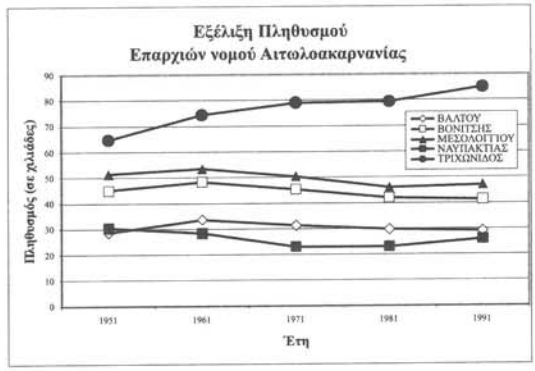
Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω θα μπορούσαν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Έτη	1951	1961	1971	1981	1991
Σύνολο Νομού	220.138	237.738	228.989	219.764	228.180
Συνολικός Πληθυσμός Ελλάδας	7.632.801	8.388.553	8.768.641	9.740.417	10.259.900
Ποσοστό (%) επί του συνολικού πληθυσμού	2,9%	2,8%	2,6%	2,3%	2,2%
ΕΠΑΡΧΙΑ ΒΑΛΤΟΥ	28.757	33.642	31.360	29.619	28.938
Δήμοι	4.960	5.841	5.114	5.034	5.116
Κοινότητες	23.797	27.801	26.246	24.585	23.822
ΕΠΑΡΧΙΑ ΒΟΝΙΤΣΗΣ ΚΑΙ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ	45.039	48.270	45.180	41.937	41.342
Δήμοι	9.265	9.945	9.682	9.735	9.805
Κοινότητες	35.774	38.325	35.498	32.202	31.537
ΕΠΑΡΧΙΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	51.435	53.271	50.411	46.010	46.990
Δήμοι	18.942	18.354	18.172	16.640	17.484
Κοινότητες	32.493	34.917	32.239	29.370	29.506
ΕΠΑΡΧΙΑ ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ	30.179	28.250	22.931	23.004	25.984
Δήμοι	14.530	14.805	14.073	14.487	16.824
Κοινότητες	15.649	13.445	8.858	8.517	9.160
ΕΠΑΡΧΙΑ ΤΡΙΧΩΝΙΔΟΣ	64.728	74.305	79.107	79.194	84.926
Δήμοι	33.180	40.608	49.958	53.222	58.906
Κοινότητες	31.548	33.697	29.149	25.972	26.020

Πίνακας 2. Στατιστικά Νομού Αιτωλοακαρνανίας
Table 2: Statistical population data of Aetoloacarnania Prefecture



Εικ. 4. Η εξέλιξη του πληθυσμού του νομού Αιτωλοακαρνανίας και η σχέση του με τον πληθυσμό της Ελλάδας για την χρονική περίοδο 1951-1991.
Fig. 4. The evolution of Aetoloacarnania Prefecture population in relation to the population of Greece during the years 1951 – 1991.



Εικ. 5. Η εξέλιξη του πληθυσμού των επαρχιών του νομού Αιτωλοακαρνανίας για την χρονική περίοδο 1951-1991.
Fig. 5. The population evolution of Aetoloacarnania Prefecture during the years 1951 –1991.

Το ποσοστό των δήμων και κοινοτήτων που παρουσιάζουν πλήρη επάρκεια σε όλο το έτος αντιστοιχεί σε ποσοστό 51% αυτών που απάντησαν. Ανεπάρκεια κατά την θερινή περίοδο αντιμετωπίζει το 40% αυτών που απάντησαν ενώ πλήρη ανεπάρκεια αντιμετωπίζει το 9%. Είναι πολύ πιθανό οι δήμοι και οι κοινότητες που δεν απάντησαν να μην αντιμετωπίζουν προβλήματα επάρκειας ύδρευσης.

- Σε περιοχές με υψηλές βροχοπτώσεις και μείωση του πληθυσμού (π.χ. δήμος Αποδοτίας με έδρα την Άνω Χώρα της ορεινής Ναυπακτίας) παρουσιάζονται προβλήματα ανεπάρκειας κατά την θερινή περίοδο. Το πρόβλημα φαίνεται να είναι διαχειριστικό καθώς στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται πολλές μικροπηγές. Η περιοχή δομείται κυρίως από τον φλύσχη της Πίνδου ενώ αποτελεί το ανώτερο τμήμα της υδρογραφικής λεκάνης του Εύηνου ποταμού.
- Σε περιοχές που βρίσκονται σε μικρά υψόμετρα, έχουν χαμηλές, σε σχέση με το σύνολο του νομού, βροχοπτώσεις και πλήρη επάρκεια αν και βρίσκονται σε δυσμενέστερο γεωλογικό περιβάλλον.
- Σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, χαμηλές βροχοπτώσεις και ανεπάρκεια ύδατος ύδρευσης όλο το χρόνο. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται κυρίως με τη γεωλογία (Ιόνιος ενότητα – εβαπορίτες).
- Οι περισσότερες περιοχές που παρουσιάζουν πλήρη επάρκεια βρίσκονται σε χαμηλές περιοχές και δομούνται από τις αποθέσεις του ενιαίου φλύσχη Ηπείρου – Ακαρνανίας.
- Στους περισσότερους δήμους και κοινότητες του νομού παρατηρήθηκε έλλειψη συστηματικού ελέγχου της ποιότητας του ύδατος ύδρευσης.

Από το σύνολο των παρατηρήσεων προκύπτει ότι τα προβλήματα οφείλονται κυρίως στην έλλειψη συνολικής αντιμετώπισης του προβλήματος αφού οι όποιες παρεμβάσεις είναι αποσπασματικές, τοπικού χαρακτήρα και χωρίς εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών και συνθηκών. Οι όποιες παρεμβάσεις γίνουν θα πρέπει να είναι στη βάση της ορθολογικής κατανάλωσης νερού, η οποία θα βασίζεται στην μακροπρόθεσμη προστασία των υδατικών αποθεμάτων κατάλληλης ποιότητας και ποσότητας προκειμένου να επιτευχθεί η αειφορική χρήση αυτών των αποθεμάτων.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AGENDA 21 1992. Final Text from the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, June 1992.

BRITISH PETROLEUM COMPANY LTD (BP Co LTD) 1971. The geological results of petroleum exploration in western Greece. *Ι.Γ.Μ.Ε. Ειδικαί Μελέται επί της Γεωλογίας της Ελλάδος,* No 10, 73 pp.

ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 1955. Πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφήν της 7ης Απριλίου 1951.

ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 1962. Πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφήν της 19ης Μαρτίου 1961.

ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 1972. Πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφήν της 14ης Μαρτίου 1971.

ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 1982. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδας κατά την απογραφή της 5ης Απριλίου 1981. 189 σ.

ΕΘΝΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ 1994. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδας κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1991. 239 σ.

ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι. & ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ-ΤΣΙΑΜΠΑΟΥ, Θ. (1983): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000, *Ι.Γ.Μ.Ε.*

ΥΠΕΧΩΔΕ 1990. Μελέτη ενίσχυσης της ύδρευσης Αθηνών προς κάλυψη αναγκών μέχρι το 2030. Αριθμός μελέτης 8976701, *Τεχνική έκθεση, Τόμος Α.*

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1843-1850, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1843-1850, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΟΥ ΦΥΛΛΗΙΟΥ ΟΡΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΦΑΡΣΑΛΩΝ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ)

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ[1], Σ. ΛΕΚΚΑΣ[1], Α. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ[1], Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ[1],
Ε. ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ[2], Ι. ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ[1], Δ. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ[1], Ε. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Η περιοχή των Φαρσάλων στη Θεσσαλία αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων αποθεμάτων, με αποτέλεσμα τη συνεχή πτώση στάθμης τόσο στον κοκκώδη όσο και στον καρστικό υδροφορέα. Η εφαρμογή στον καρστικό υδροφορέα της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού, η οποία διεθνώς κερδίζει συνεχώς έδαφος, κρίθηκε η πλέον κατάλληλη για την αποκατάσταση της ισορροπίας στο υδρογεωλογικό σύστημα της περιοχής. Η επιτυχία της μεθόδου προϋποθέτει βαθιά και λεπτομερή γνώση της γεωλογικής δομής και των υδρογεωλογικών συνθηκών, καθώς επίσης και σχεδιασμό με βάση τις αρχές της περιβαλλοντικής προστασίας και της αειφόρου ανάπτυξης.

ABSTRACT

The area of Farsala (Thessaly) is a representative case of overexploitation of water resources, leading to the continuous exhaustion of the grained as well as the karstic aquifers. The application of the increasingly and internationally accepted method of artificial recharge on the karstic aquifer was decided to be the most effective for the restoration of balance of the hydrogeological system. Deep knowledge of the details of the geological structure and the hydrogeological conditions of the area is necessary for the success of the method, whose planning has to be made based on the principles of environmental protection and sustainable development. Use of state-of-the-art technology and estimation of all the parameters involved, are necessary.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται δυτικά των Φαρσάλων, στις (πρώην) κοινότητες Ορφανών και Υπέρειας στα όρια των νομών Λάρισας και Καρδίτσας, μεταξύ των λόφων Φυλλήιον όρος και Χτούρι που συνιστούν τις κύριες ανθρακικές μάζες στο χώρο αυτό. Ο χώρος αυτός επιλέχθηκε λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος του Υπουργείου Γεωργίας για τις δυνατότητες αύξησης των υδάτινων αποθεμάτων, τα οποία στην περιοχή παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα εξάντλησης. Ενδεικτικό της κρισιμότητας της κατάστασης είναι ότι στις αρδευτικές γεωτρήσεις η στάθμη, σύμφωνα με τελευταίες μαρτυρίες, κατεβαίνει 3-6 μέτρα το χρόνο.

Στα πλαίσια αυτά αποφασίστηκε να διερευνηθεί η εφαρμοσιμότητα και οι πιθανότητες επιτυχίας της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού του καρστικού υδροφορέα.

Λέγοντας τεχνητό εμπλουτισμό εννοούμε την διοχέτευση επιφανειακών υδάτων στους υπόγειους υδροφορείς. Η μέχρι τώρα πείρα έχει δείξει ότι ο τεχνητός εμπλουτισμός, παρά την απλή αρχή στην οποία βασίζεται, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, αν δεν είναι γνωστές στις λεπτομέρειές τους οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής όπου εφαρμόζεται(PYNE R.D.G.,1995). Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι δυνατόν να γίνει με διάφορες μεθόδους όπως, επιφανειακή κατάκλυση, σημειακή παροχέτευση, αύλακες εμπλουτισμού, τεχνητές σήραγγες εμπλουτισμού (κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα), αξιοποίηση φυσικών «σηράγγων», ήτοι καρστικών αγωγών, σπηλαίων, καταβόθρων κλπ. (εφόσον υπάρχουν σε μια περιοχή και εφόσον είναι γνωστή η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των επιφανειακών καρστικών και του υδροφορέα) και τέλος με την αξιοποίηση αυτών των μεγάλων φυσικών καρστικών αγωγών, είτε απευθείας είτε με την κατασκευή σηράγγων προσπέλασης.

Για την καλύτερη όμως αξιοποίηση των καρστικών περιοχών πρέπει να γνωρίσουμε από κοντά, και πέραν των πολλών άλλων, κυρίως το καρστ σε συνδυασμό με την νεοτεκτονική εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου.

1. Univ. of Athens, Fac. of Geology, Department of Dynamic-Tectonic-Applied Geology, Panepistimioupoli Zografou, 157 84, Athens, GREECE, e-mail: mariolakos@geol.uoa.gr
2. F.U. Berlin, Institut f. Geologie, Geophysik & Geoinformatik, FR Geoinformatik, Malteserstr. 74 –100, Haus D, D-12249 Berlin, GERMANY, e-mail: vangelis@zedat.fu-berlin.de

2. ΚΑΡΣΤ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι μία σύνθετη διαδικασία η επιτυχής πραγματοποίηση της οποίας **απαιτεί βαθειά γνώση της γεωλογικής δομής και εξέλιξης μιας περιοχής**. Πιο συγκεκριμένα, η λεπτομερής **μορφοτεκτονική και υδρογεωλογική μελέτη** της περιοχής πρέπει να περιλαμβάνει μια μεγάλη σειρά επιμέρους εργασιών (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, 1999).

Η έρευνα έχει δείξει ότι σε πολλές περιπτώσεις οι μεν καρστικοποιημένοι υδροφορείς προσφέρονται για τεχνητό εμπλουτισμό, ενώ οι καρστικοποιημένοι σχηματισμοί που περιβάλλουν τα διάφορα νεοτεκτονικά βυθίσματα προσφέρονται να χρησιμοποιηθούν ως αγωγοί μεταφοράς του προς εμπλουτισμού ύδατος, όταν φυσικά υπάρχει επικοινωνία μεταξύ αυτών και του καρστικού υδροφορέα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι **καρστικές πηγές** οι γνωστές και ως **κεφαλάρια**, τροφοδοτούνται είτε από καρστικούς σχηματισμούς που βρίσκονται υψηλότερα και με τους οποίους βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία, είτε από κοκκώδεις υδροφορείς που βρίσκονται σε επαφή. Στην περιοχή μελέτης, στην πρώτη περίπτωση αντιστοιχούν οι πηγές στα Βρυσιά, ενώ στη δεύτερη οι πηγές του Χτουρίου.

Αξιοποιώντας κατ' ανάλογο τρόπο και παρεμβαίνοντας με διάφορα τεχνικά έργα αναρρύθμισης της ροής των ρευμάτων, κυρίως σε καρστικοποιημένες ορεινές περιοχές, είναι δυνατόν να εμπλουτιστούν καρστικοποιημένοι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε πεδινές εκτάσεις και που βρίσκονται χαμηλότερα, εφόσον υπάρχει ή είναι δυνατόν να επιτευχθεί υδραυλική επικοινωνία. Εάν όμως δεν υπάρχουν φυσικοί αγωγοί στην επιφάνεια μιας πεδινής έκτασης, τότε θα πρέπει να δημιουργηθούν με την κατασκευή ανάλογων τεχνικών έργων, όπως είναι οι γεωτρήσεις και οι σήραγγες και μάλιστα μέχρι εκείνο το βάθος που θα συναντηθεί το καρστικοποιημένο υπόβαθρο.

Βασικό πλεονέκτημα του τεχνητού εμπλουτισμού των καρστικών υδροφορέων είναι ότι, εάν ληφθούν ορισμένα μέτρα, σπάνια σφραγίζονται τα κενά επειδή συνήθως είναι μεγάλα και αναπτύσσονται σχετικά μεγάλες υδραυλικές πιέσεις. Ένας άλλος λόγος είναι η ταχύτητα κίνησης των υδάτων που είναι μεγάλη και τυρβώδης.

Το πιο **ευαίσθητο σημείο** της μεθόδου, είναι ότι εάν το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό δεν φιλτραριστεί πριν εισέλθει στον υπόγειο υδροφορέα, δημιουργεί μεγάλες πιθανότητες ρύπανσης των υπογείων υδάτων, ειδικά στην περίπτωση που αντλείται απευθείας από τους καρστικούς υδροφόρους. Για την **αποφυγή** της **ρύπανσης** είναι **απαραίτητο** να προηγηθεί συστηματική μελέτη για τα έργα που πρέπει να κατασκευαστούν, ώστε να επιτευχθεί **καθίζηση των εν αιωρήσει** συστατικών που μεταφέρει το νερό, καθώς και η **διήθησή** του για την παραπέρα ποιοτική του βελτίωση. Τέλος, σε κάθε περίπτωση **πρέπει να ελέγχονται σε μόνιμη βάση τόσο τα προς εμπλουτισμό ύδατα, όσο και εκείνα του εμπλουτιζόμενου υδροφόρου ορίζοντα**.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η ερευνητική ομάδα έλαβε υπ' όψιν τα κριτήρια της "αειφόρου ανάπτυξης", δηλ. **ότι ο ορθολογικός σχεδιασμός και η κατάλληλη διαχείριση των φυσικών πόρων, πρέπει αναγκαστικά να ικανοποιούν τόσο τις βασικές απαιτήσεις του περιβάλλοντος, όσο και των κοινωνικοοικονομικών συμφερόντων της περιοχής.** Για την **διατήρηση της ποσότητας και της ποιότητας του καρστικού υπόγειου νερού** πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες :

- Τα νερά από την **φυσική τροφοδοσία** (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, και δευτερογενής κατείσδυση), πρέπει να είναι καλής ποιότητας.
- Η **φυσική προστασία** προερχόμενη από το κάλυμμα της βλάστησης, το εδαφικό στρώμα και άλλα υπερκείμενα στοιχεία πρέπει να διατηρείται ή να βελτιώνεται.

3. Ο ΚΑΡΣΤΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΤΟΥ ΦΥΛΛΗΙΟΥ ΟΡΟΥΣ

Η σημερινή μεταβολή της στάθμης του καρστικού υδροφορέα στο Φυλλήιο όρος κυμαίνεται σε επίπεδα κάποιων δεκάδων μέτρων χαμηλότερα από το επίπεδο του υψομέτρου των πηγών του Μικρού Βουνού (ΒΔ τμήμα του χάρτη της Εικ.1), όπου βρισκόταν η στάθμη ισορροπίας του συστήματος πριν την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα. Στόχος των υπολογισμών που έγιναν ήταν να προσεγγιστεί με ακρίβεια ο όγκος του νερού που αντιπροσωπεύεται από αυτή την πτώση στάθμης και αποτελεί το έλλειμμα που πρέπει να αναπληρωθεί, καθώς και οι ποσοτικές δυνατότητες **του Ενιπέα** προς την κατεύθυνση αυτή. Για να γίνει αυτός ο υπολογισμός και να μπορεί να αξιοποιηθεί στην πραγματικότητα, έπρεπε ταυτόχρονα να εξακριβωθεί η δομή του υδρογεωλογικού συστήματος και οι σχέσεις με την περιβάλλουσα περιοχή. Προσδιορίστηκαν δηλαδή οι παρακάτω παράμετροι:

- Η **γεωμετρία του τεκτονικού τεμάχους** που περιλαμβάνει σαν ενιαίο τμήμα τον καρστικό υδροφορέα του Φυλλήιου όρους (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et. al., 2001).
- Η **μορφολογία της βάσης των μεταλπικών αποθέσεων** που αποτελεί υπεδαφικά το άνω όριο των ασβεστόλιθων (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et. al., 2001).
- Η **λειτουργία των πηγών του Μικρού Βουνού και του Χτουρίου** και η σχέση μεταξύ τους, όσο και **η σχέση**

Εικ. 1: Η ευρύτερη περιοχή εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού.

του Ενιπέα με τον υδροφορέα των μεταλπικών σχηματισμών και με τον καρστικό υδροφορέα.(ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et.al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000)

- Η **περιοχή αναφοράς**, που καθορίζεται από τη γεωμετρία του τεκτονικού τεμάχους όσον αφορά αυτό καθαυτό τον καρστικό υδροφορέα σε βάθος, αλλά όσον αφορά τις μεταλπικές αποθέσεις καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του καρστικού με τον μικροκοκκώδη υδροφορέα και είναι καταρχήν διαφορετική.
- Οι **υδραυλικές παράμετροι** των καρστικών ασβεστόλιθων και των μεταλπικών σχηματισμών (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et.al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000).
- Ο **όγκος των ασβεστόλιθων που θα πρέπει να επαναπληρωθεί** με νερό, και ο όγκος των κενών τους, ο όγκος δηλαδή του νερού που χρειάζεται για την αναπλήρωση (Πίνακας 1).
- Ο **όγκος των κενών των μεταλπικών σχηματισμών που αντιστοιχεί στη στήλη** που πρέπει να αναπληρωθεί.
- Η **τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα** (προέλευση και ποσότητα)(Πίνακας 1).
- Η **τροφοδοσία του μικροκοκκώδους υδροφορέα** στην περιοχή αναφοράς (προέλευση και ποσότητα) (ΜΑ-

ΡΙΟΛΑΚΟΣ et.al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000)

- **Ο όγκος των νερού που δέχεται η περιοχή αναφοράς** απευθείας από κατακρημνίσματα, από υπόγεια τροφοδοσία και από τον Ενιπέα (Πίνακας 1).
- **Ο όγκος του νερού που αντιστοιχεί στην ετήσια πτώση στάθμης** του καρστικού υδροφορέα λόγω της υπερεκμετάλλευσής του (Πίνακας 1).

Για τη διαπίστωση της σχέσης των καρστικών πηγών μεταξύ τους, και την ανίχνευση της σχέσης του μικροκοκκώδους ορίζοντα με τον Ενιπέα και με τις πηγές και τον καρστικό υδροφορέα, λήφθηκαν υπόψη τα ακόλουθα:

- Από τη Μελέτη Ανάπτυξης Υπογείων Υδάτων Θεσσαλίας (SOGREAH 1974), τα στοιχεία που αφορούν την πιεζομετρία του επιφανειακού (μικροκοκκώδους) υδροφορέα και την κυκλοφορία του νερού σε περίοδο χαμηλών και υψηλών υδάτων.
- Από την Υδρογεωλογική έρευνα Λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας (ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ et al 1973), στοιχεία που αφορούν την πιεζομετρία του μικροκοκκώδους υδροφορέα, καθώς επίσης και υπολογισμοί συντελεστών μέσης εξατμισιδιαπνοής, κατείσδυσης και απορροής στο σύνολο της λεκάνης.
- Από την εργασία "Προσχωματικές και καρστικές υδροφορίες του Θεσσαλικού κάμπου. Νεότερα στοιχεία για το καθεστώς υπερεκμετάλλευσής τους" (ΜΑΡΙΝΟΣ et al 1997), στοιχεία για τις μέσες παροχές των πηγών Χτουρίου και Μικρού Βουνού.
- Από υπάρχουσες γεωτρήσεις και από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος, οι μετρήσεις των σταθμών κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των εργασιών. (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et.al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000).

Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τις παραπάνω πηγές συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Οι πηγές του Χτουρίου βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο 116 μέτρων. Οι πηγές του Μικρού Βουνού βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο 102 μέτρων. Η κοίτη του Ενιπέα στην περιοχή των Ορφανών βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 110 μέτρων. Αν θεωρούσαμε έναν ενιαίο υδροφορέα με αυτά τα υψόμετρα, η μέση υδραυλική του κλίση θα ήταν περίπου 1,6% προς τα βόρεια, δηλαδή προς το Μικρό Βουνό.
- Οι πηγές του Χτουρίου μέχρι το 1989 που επηρεάστηκαν από την υπερεκμετάλλευση είχαν μια μέση παροχή 0.3 m^3/sec, δηλαδή μια μέση εκφόρτιση περίπου 9.3 εκατ. m^3 ανά έτος.
- Οι πηγές του Μικρού Βουνού μέχρι το 1985 που επηρεάστηκαν από την υπερεκμετάλλευση είχαν μια μέση παροχή 0.2 m^3/sec, δηλαδή μια μέση ετήσια εκφόρτιση περίπου 6.2 εκατ. m^3 ανά έτος.
- Οι πηγές του Χτουρίου φαίνεται ότι εκφόρτιζαν μια τοπική δεξαμενή αυξημένης περατότητας και αποθηκευτικότητας που παρεμβάλλεται στο χώρο του μικροκοκκώδους υδροφορέα. Αυτή η καρστική δεξαμενή πληρωνόταν από τα ανατολικά και εκφορτιζόταν προς τα δυτικά από το μικροκοκκώδη υδροφορέα, καθώς η απευθείας τροφοδοσία από τα κατακρημνίσματα δεν θα μπορούσε σε καμιά περίπτωση να δικαιολογήσει τις παροχές των πηγών αυτών. Επίσης το καθεστώς αυτό ήταν μόνιμο και δεν εμφάνιζε εποχικές μεταβολές, όπως αυτές που παρουσίαζε ο καρστικός υδροφορέας του Φυλλήιου.
- Οι διαπιστώσεις αυτές δείχνουν ότι ο μικροκοκκώδης υδροφορέας είναι η κύρια πηγή τροφοδοσίας των καρστικών υδροφοριών στη συγκεκριμένη περιοχή και ίσως η μόνη αιτία που δεν έχουν εξαντληθεί εντελώς τα αποθέματα του καρστικού υδροφορέα από την υπερεκμετάλλευση. Μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη η τροφοδοσία του Φυλλήιου από τον επιφανειακό υδροφορέα και από τον Ενιπέα, γεγονός το οποίο έχει και αντίστοιχη σημασία για την ποιότητα του ύδατος που κατεισδύει στους ασβεστόλιθους.
- Η περιοχή εφαρμογής των υπολογισμών όσον αφορά τον καρστικό υδροφορέα του Φυλλήιου αυτόν καθαυτό, περιορίζεται στα όρια του τεκτονικού τεμάχους που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θα είχε όμως ουσιαστικό νόημα αν δεν υπήρχε η τροφοδοσία από τον μικροκοκκώδη υδροφορέα. Στην πραγματικότητα όμως, στην περιοχή αυτή τη στιγμή γίνεται εκμετάλλευση του μικροκοκκώδους υδροφορέα μέσω των απομονωμένων μεταξύ τους καρστικών δεξαμενών του Φυλλήιου και του Χτουρίου. Έτσι, η περιοχή αναφοράς πρέπει να επεκταθεί σε μεγαλύτερη ακτίνα από τα όρια του τεκτονικού τεμάχους του Φυλλήιου, ειδικά όσον αφορά τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των υδροφορέων κατά τον εμπλουτισμό του καρστικού υδροφορέα και την αποκατάσταση της προηγούμενης ισορροπίας.

Ως προς το υδρογεωλογικό σύστημα του Φυλλήιου όρους, εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο ασβεστολιθικός όγκος του Φυλλήιου όρους, όπως και η μικρότερη μάζα του Χτουρίου νοτιότερα, αποτελούν απομονωμένες μεταξύ τους καρστικές δεξαμενές, που σε συνθήκες ισορροπίας, είναι ενοποιημένες στον υδροφορέα που αναπτύσσεται επιφανειακά στα μικροκοκκώδη μεταλπικά υλικά (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et al, 2001).
- Η εκδήλωση των πηγών δυτικά του Χτουρίου και βόρεια του Φυλλήιου (Μικρό Βουνό) είναι το αποτέλεσμα της υψομετρικής διαφοράς της ελεύθερης επιφάνειας των μικροκοκκωδών υλικών εκατέρωθεν των ασβε-

στολιθικών μαζών, σε συνδυασμό με την απότομη μείωση της ταχύτητας του νερού στο μέτωπο της υπεδαφικής επαφής μεταξύ ασβεστόλιθου και κοκκώδους υλικού.

- Στο Χτούρι, σε συνθήκες ισορροπίας γίνεται τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα από τα ανατολικά και εκφόρτιση στα δυτικά, ενώ το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται στο Φυλλήιο με κατεύθυνση από το νότο προς το βορρά.
- Στην πραγματικότητα, οι δυο ασβεστολιθικές μάζες δεν είναι παρά δυο ανοικτές δεξαμενές αυξημένης υδαταγωγιμότητας που παρεμβάλλονται στη συνεχή υπόγεια αποστράγγιση του πεδινού τμήματος μέσω του μικροκοκκώδους υδροφορέα.
- Οι ποσότητες της τροφοδοσίας των καρστικών υδροφοριών ελέγχονται κυρίως από το μικροκοκκώδη υδροφορέα και σε μικρό βαθμό από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχονται απευθείας.
- Πριν την υπερεκμετάλλευση, η πιεζομετρία του μικροκοκκώδους υδροφορέα παρουσίαζε μια διπλή λειτουργία. Στην περίοδο χαμηλών υδάτων ο μικροκοκκώδης ορίζοντας δεχόταν τροφοδοσία από τον καρστικό υδροφορέα, λόγω τότε των αντλήσεων στους μεταλπικούς ορίζοντες, ενώ στην περίοδο υψηλών υδάτων η καρστική υδροφορία αναπληρωνόταν με τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα.
- Σήμερα, με δεδομένη τη διατάραξη αυτής της ισορροπίας και το γεγονός ότι δεν αναπληρώνεται η απώλεια στον καρστικό υδροφορέα, αλλά αντιθέτως αυξάνεται σε ετήσια βάση, έχει ανασταλεί η διπλή λειτουργία και παγιώθηκε η μονόδρομη διαδρομή της τροφοδοσίας από το μικροκοκκώδη προς τον καρστικό υδροφορέα, καθώς βρισκόμαστε σε διαρκή περίοδο χαμηλών υδάτων.
- Η αναπλήρωση των αποθεμάτων της καρστικής δεξαμενής του Φυλλήιου αναμένεται να αποκαταστήσει την αντίστροφη φορά της τροφοδοσίας προς το μικροκοκκώδη υδροφορέα (αυτή τη φορά κατά την υγρή περίοδο που θα γίνεται ο εμπλουτισμός), από τη στιγμή που η στάθμη στους ασβεστόλιθους θα φτάσει περίπου στα επίπεδα της στάθμης του μικροκοκκώδους υδροφορέα και μέχρις ότου αποκατασταθεί η λειτουργία των πηγών του Μικρού Βουνού. Το γεγονός αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού της ανόδου της στάθμης στον ασβεστόλιθο, αφού ποσότητες ύδατος θα καλύπτουν πλέον και το έλλειμμα στο μικροκοκκώδη υδροφορέα.

4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Για τις ανάγκες του εμπλουτισμού του καρστικού υδροφορέα, το μέρος των απορροών που παρουσιάζει ουσιαστικό ενδιαφέρον από την άποψη της δυνατότητας αξιοποίησης, είναι οι ποσότητες που αντιστοιχούν μόνο στους υγρούς μήνες του έτους, αφού αυτές θα διατηρήσουν και την δίαιτα του Ενιπέα κατά την περίοδο που προβλέπεται ο εμπλουτισμός.

Λαμβάνοντας υπόψη τα όσα προστάζει η Agenda 21 του Rio, και κυρίως ότι η κάθε ανθρώπινη προσπάθεια παρέμβασης στα διάφορα φυσικογεωλογικά συστήματα πρέπει να κινείται στο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης, κρίθηκε ως απαράβατο πλαίσιο για την διαχείριση του προβλήματος και την εκτέλεση των υπολογισμών σε σχέση με τις παροχές του Ενιπέα και τις ποσότητες που θα μπορούσαν να ληφθούν για χρήση στα πλαίσια του τεχνητού εμπλουτισμού, ότι:

- σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να διαταραχθεί η δίαιτα του ποταμού κατά τη θερμή (ξηρά) περίοδο, δηλαδή στη διάρκεια των μηνών από το Μάιο ως και τον Σεπτέμβριο, κατά τους οποίους η παροχή του Ενιπέα είναι μικρότερη από $1 m^3/sec$ στο σταθμό μέτρησης Δενδράκια.
- κατά την υγρή περίοδο θα λαμβάνεται νερό μόνον όταν η παροχή του ποταμού είναι μεγαλύτερη από $1 m^3/sec$.

Με γνώμονα τα παραπάνω, έγιναν υπολογισμοί στην κατεύθυνση της προσέγγισης των ποσοτήτων που μπορούν να ληφθούν από τον Ενιπέα, τηρώντας πάντα τις προϋποθέσεις που έχουν τεθεί, και προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι του προβλήματος:

1. Η παροχή του Ενιπέα, δηλαδή οι διακυμάνσεις, οι ακραίες τιμές και ο μέσος όρος της παροχής στην πλησιέστερη δυνατή απόσταση από τη θέση ενδιαφέροντος, δηλαδή την περιοχή του Φυλλήιου.
2. Ο μηχανισμός που δημιουργεί τις διακυμάνσεις αυτές.
3. Η συσχέτιση των παροχών του Ενιπέα με τις βροχοπτώσεις και αν είναι δυνατή η ανίχνευση της αντίδρασης του ποταμού ανάλογα με τα κατακρημνίσματα ανά λεκάνη.
4. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που απορρέει μέσω του Ενιπέα και οι ακραίες τιμές του.
5. Οι ποσότητες που μπορούν να ληφθούν χωρίς να διαταραχθεί η δίαιτα του ποταμού, με βάση το προηγούμενο σκεπτικό.
6. Η πιθανότητα εξαίρεσης ποσοτήτων από τις υποτιθέμενες ωφέλιμες, λόγω αυξημένων στερεοπαροχών.

Με βάση όλα αυτά τα στοιχεία και τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, οι μέσες ετήσιες ποσότη-

τες που μπορούν να ληφθούν από τον Ενιπέα συνολικά στο μέλλον για να εμπλουτιστεί ο υπόγειος καρστικός υδροφορέας και μέσω αυτού και οι μικροπερατοί ανέρχονται σε 16.7 εκατ. m^3 περίπου ετησίως. Από άποψη ποσότητας συνεπώς το υδατικό δυναμικό των υπογείων υδροφορέων στον ευρύτερο χώρο της λεκάνης Υπέρειας - Ορφανών είναι δυνατόν να αυξηθεί κατά 16.7 εκατ. m^3 ανά έτος, χωρίς να διαταραχθεί ο φυσικός εμπλουτισμός αφού κατά την θερμή περίοδο, δηλαδή τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβριο δεν θα λαμβάνεται νερό από τον ποταμό. Οι απαιτούμενες ποσότητες για τον εμπλουτισμό φαίνονται στον πίνακα 1, και από τη σύγκριση με τις ωφέλιμες παροχές του Ενιπέα, φαίνεται ότι οι διαθέσιμες ποσότητες επαρκούν για την ισοστάθμιση της ετήσιας αύξησης του ελλείμματος του καρστικού υδροφορέα και για την σταδιακή ισοστάθμιση του συνολικού ελλείμματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύγκριση των διαθέσιμων από τον Ενιπέα και των απαιτούμενων για την αναπλήρωση του ελλείμματος ποσοτήτων νερού

	Όγκος κενών (έλλειμμα νερού) μεταξύ οριακών επιπέδων (εκατ. m^3)		Μέση ετήσια αύξηση του ελλείμματος (εκατ. m^3)	Μέση ετήσια κατείσδ. ασβ/θων (εκατ. m^3)	Αναμενόμενη ετήσια τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα (εκατ. m^3)	Ετήσιες διαθέσιμες ποσότητες από τον Ενιπέα (εκατ. m^3)	
Ποσοστό αποθηκευτικότητας	+102m έως +65m	+65m έως +38m					
4.22%	27.2	25.6	2.1	4.5	19.0	Μέση	16.7

5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑ

Για την επιλογή της μεθόδου και το σχεδιασμό των έργων του τεχνητού εμπλουτισμού στη συγκεκριμένη περιοχή, έχουν ληφθεί υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

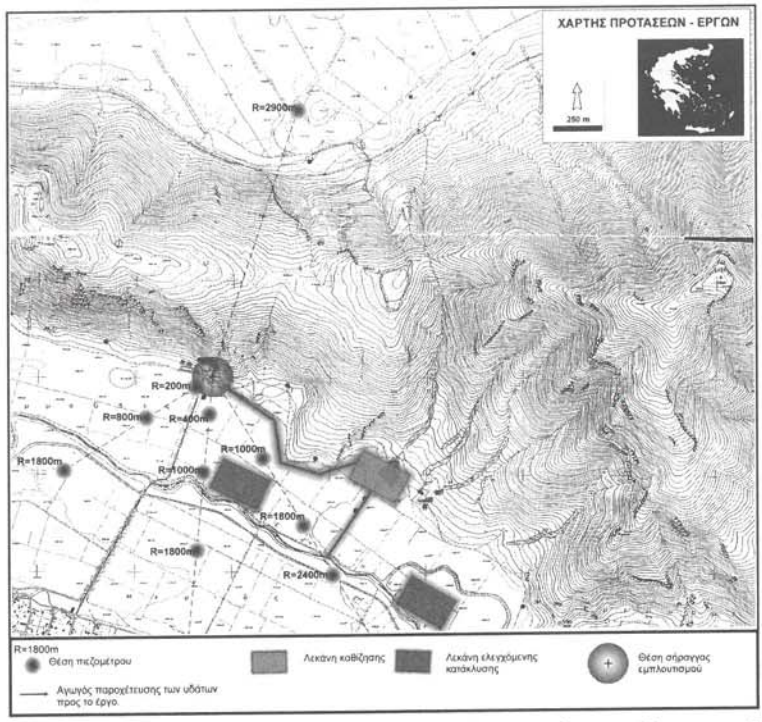
1. Η γεωλογική – τεκτονική – νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της περιοχής.
2. Η καρστικοποίηση των ανθρακικών σχηματισμών.
3. Η γεωμετρία των βαθιών καρστικών υδροφορέων και κυρίως αυτών που αναπτύσσονται δυτικά της νοητής γραμμής Χτούρι – Υπέρεια.
4. Η παραδοχή ότι οι αποκαρστωμένοι ασβεστόλιθοι του Φυλλήιου επικοινωνούν πλευρικά με τους υπόγειους καρστικούς υδροφορείς.
5. Το γεγονός ότι τόσο οι πλευρικοί, όσο και οι υπόγειοι καρστικοποιημένοι υδροφορείς επικοινωνούν υδραυλικά με τους κοκκώδεις υδροφορείς, αν όχι καθ' όλη την επιφάνεια επαφής τους, τουλάχιστον μερικώς.

Για τον εμπλουτισμό θα χρησιμοποιηθούν κατά ένα ποσοστό οι χειμερινές απορροές του Ενιπέα ποταμού. Τα κυρίως έργα έχουν ως εξής:

- **Μικρό ανασχετικό φράγμα** στην κοίτη του ποταμού. Από το σημείο αυτό, το νερό θα οδηγείται απευθείας στις λεκάνες καθίζησης των εν αιωρήσει υλικών.
- **Λεκάνη καθίζησης των εν αιωρήσει υλικών**, οι διαστάσεις της οποίας θα είναι τέτοιες που να μπορούν να καλύψουν τις παροχές που θα χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό.
- **Αγωγός μεταφοράς των υδάτων από τη λεκάνη καθίζησης στη θέση εμπλουτισμού** μέσω του οποίου τα ελεύθερα από τα εν αιωρήσει υλικά νερά που θα έχουν συγκεντρωθεί στις λεκάνες καθίζησης θα οδηγούνται μέσω μίας αύλακας στη δεξαμενή ηρεμίας.
- **Δεξαμενή ηρεμίας,** η οποία θα είναι φρέαρ σχετικά μικρού βάθους.
- **Σήραγγα εμπλουτισμού,** η οποία θα πρέπει να έχει διατομή διαστάσεων τουλάχιστον 3m x 3m και μήκος αρχικά 30m και κλίση τέτοια ώστε να είναι δυνατή η κίνηση ειδικών οχημάτων, όπως μικρών γεωτρύπανων, οχημάτων μεταφοράς υλικών εκσκαφής, οχημάτων καθαρισμού φίλτρων, κλπ.
- **Φρέατα εντός της σήραγγας εμπλουτισμού,** που θα ανορυχθούν ανά 5 μέτρα και θα έχουν μικρές διαστάσεις (1m x 1m x 1m).
- **Πιεζόμετρα** μέσου βάθους 100 μέτρων σε διάφορες αποστάσεις από τη θέση παροχέτευσης, για την παρακολούθηση της αντίδρασης της υδροφορίας στον εμπλουτισμό.
- **Σταθμοί** αυτόματης ψηφιακής καταγραφής και μετάδοσης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των προς εμπλουτισμό υδάτων, στο σημείο της παροχέτευσης καθώς επίσης και ανάντη και κατάντη του σημείου της παροχέτευσης, για τους λόγους που εξηγούνται στη συνέχεια.

6. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο εμπλουτισμός του καρστικού δεν πρέπει να γίνεται σε βάρος του φυσικού εμπλουτισμού του κοκκώδη υδροφορέα. Εξάλλου, ο όγκος και η ποιότητα των νερών του Ενιπέα που θα φθάνουν στα κατάντη της περιοχής ενδιαφέροντος δεν πρέπει να επηρεάζουν αρνητικά τα υπάρχοντα οικοσυστήματα και υδρογεωλογικές συνθήκες.



Εικ. 2: Η προτεινόμενη περιοχή εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού με τις θέσεις των έργων σχηματικά.

Έτσι, προτείνεται ως **απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία** του έργου, μαζί με την κατασκευή των έργων εμπλουτισμού η δημιουργία και ο εξοπλισμός ορισμένων σταθμών παρατήρησης και μετρήσεων με αυτογραφικά όργανα, για όσες παραμέτρους αυτό είναι τεχνολογικά εφικτό. Στους σταθμούς αυτούς θα γίνονται συνεχείς μετρήσεις των παροχών και της στάθμης του Ενιπέα, συνεχείς αναλύσεις συγκεκριμένων ρυπαντών ώστε να αποκλειστεί ο εμπλουτισμός με μολυσμένα και ρυπογόνα νερά, και μέτρηση των στερεοπαροχών του Ενιπέα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται τόσο οι αναγκαίες ποσότητες, όσο και η απαιτούμενη ποιότητα.

Στον κατάντη σταθμό θα γίνονται συνεχείς μετρήσεις παροχών και στάθμης του Ενιπέα προκειμένου να είναι γνωστές οι απώλειές του από τη θέση εμπλουτισμού μέχρι εκεί.

Τέλος θα πρέπει να παρακολουθείται περιμετρικά και συστηματικά η πιεζομετρία τόσο στον εμπλουτιζόμενο καρστικό υδροφορέα όσο και στον κοκκώδη, σε διάφορες αποστάσεις από τη θέση εμπλουτισμού.

Όταν οι μετρήσεις ξεπερνούν κάποια προκαθορισμένα κρίσιμα όρια τιμών για την παροχή, τους ρυπαντές – μολυντές ή τη στερεοπαροχή θα διακόπτεται αυτόματα ο εμπλουτισμός, μέχρι την άρση των δυσμενών συνθηκών.

7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Υπουργείο Γεωργίας και ειδικά τη Διεύθυνση Γεωλογίας Υδρολογίας και Μαθηματικών Ομοιωμάτων, με τη χρηματοδότηση του οποίου έγινε δυνατή η εκπόνηση της Υδρογεωλογικής Μελέτης Τεχνητού Εμπλουτισμού Καρστικών Υδροφορέων Περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας) –Υπέρειας (Ν. Λάρισας), τμήμα των αποτελεσμάτων της οποίας παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, καθώς και την ΥΕΒ Λάρισας και τον ΤΟΕΒ Φαρσάλων για τη διάθεση στοιχείων απαραίτητων για την εκπόνηση του έργου.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

FRYCKLUND CR. (1998): Long-term sustainability in artificial groundwater recharge.- In: Artificial Recharge of Groundwater, Peters et al. (eds), Balkema, pp. 113-117, Rotterdam.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., ΜΟΡΦΗΣ, Α., ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Χ., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Θ. (1973): Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, Αρ.8, σελ.166.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1970): Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας (Δυτ. Θεσσαλία). Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, τομ.XIV, No 1, Αθήνα.

ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, Ε. (1966): Γεωλογία - Υδρογεωλογία της Θεσσαλίας. Έκθεση, Ι.Γ.Ε.Υ.

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Δ. et al. (1996): Ερευνητικό έργο Υδροσκόπιο – Προκαταρκτική εφαρμογή στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας. – Υπ. Γεωργίας, Δ/νση Γεωλογίας & Υδρολογίας / Ε.Μ.Π., Τομέας Υδατικών Πόρων–Υδραυλικών & Θαλάσσιων έργων. Αθήνα, Σεπτέμβριος 1996.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ. Δ., & ΠΕΡΓΙΑΛΙΩΤΗΣ, Π. (1986): Ανάπτυξη υπογείων υδάτων Θεσσαλίας. Μαθηματικά μοντέλα. Αναρρύθμιση των μοντέλων υπογείων υδροφορέων. – Υπουργείο Γεωργίας, Δ/νση Γεωλογίας- Υδρολογίας, Αθήνα Ιούνιος 1986.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ. Δ., (1986): Υδρογεωλογία πηγών Δυτικής Θεσσαλίας. 3ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, εκδρομή Δυτικής Θεσσαλίας.

MARINOS P. (1993): Karstification and ground-water hydraulics of the interior of large calcareous massifs: The case of Giona Mountain in Central Greece.- International Contributions to Hydrogeology, Hannover, V. 13, pp. 241-247.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., ΠΕΡΛΕΡΟΣ, Β., ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Μ. (1997): Προσχωματικές και καρστικές υδροφορίες του Θεσσαλικού κάμπου. Νεώτερα στοιχεία για το καθεστώς της υπερεκμετάλλευσής τους. Πρακτικά 4ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου Ελληνικής επιτροπής Υδρογεωλογίας, Θεσσαλονίκη.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., (1988): Η εφαρμογή του Νόμου του Darcy σε κλειστά γεωμορφολογικά συστήματα. Παράδειγμα η λεκάνη της Άνω Μεσσηνίας (ΝΔ Πελοπόννησος).- Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, Τ.XX/3, σ. 77-96, Αθήνα.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. (1999): Καρστ και τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων στις Νεοτεκτονικές λεκάνες του Ελληνικού Τόξου. Ημερίδα τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων,(υπό εκτύπωση), Ξάνθη.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΛΕΚΚΑΣ, Σ., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Α., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Τ., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., et. al. (2000): Υδρογεωλογική μελέτη Τεχνητού Εμπλουτισμού καρστικών υδροφορέων περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας)- Υπέρειας (Ν. Λάρισας). Τελική Έκθεση. Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/νση Εγγ. Έργων & Γ.Δ., Δ/νση Γεωλογίας – Υδρολογίας. Αθηνα, Ιούλιος 2000.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ Ι., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Δ., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, ΕΜ. (2000): Η γεωμετρία του υπόγειου υδροφορέα στο Ναρθάκιο όρος (Θεσσαλία) ως αποτέλεσμα της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης. Πρακτικά 1ου Πανελλ. Συν. Ελλην. Υδροτεχνικής Ένωσης, Αθήνα, σ.343-350.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., Λέκκας Σ., Παπαδόπουλος Τ., Αλεξόπουλος Α., Φουντούλης Ι., Αλεξόπουλος Ι., Σπυρίδωνος Ε., Μπαντέκας Ι., Μαριολάκος Δ., Ανδρεαδάκης Ε. (2001): Υπεδαφική τεκτονική δομή στη λεκάνη των Φαρσάλων (Θεσσαλία) ως καθοριστικός παράγων διαμόρφωσης των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, υπό ανακοίνωση στο 9ο Συνέδριο της Ε.Γ.Ε.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ν. (1971): Γεωηλεκτρική αναγνωριστική έρευνα εις α. Περιοχήν Φαρσάλων και β. Περιοχήν Τυρνάβου, Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα, 1971.

ΠΑΡΑΣΧΟΥΔΗ Β., ΜΑΡΙΝΟΥ Π., ΒΑΪΝΑΛΗ Δ., (1988): Υδρογεωλογικά καρστικά και προσχωματικά συστήματα και σύνδεση των διαφόρων λεκανών της ευρύτερης περιοχής Βόλου – Κάρλας – Βελεστίνου – Περίβλεπτου, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, Τ.XXIII/3, σ. 11-19, Αθήνα.

PYNE, R.D.G. (1995): Ground Water Recharge and Wells: A Guide to Aquifer Storage.– Recovery Lewis Publishers, Boca Raton, p. 375.

SCHNEIDER, H.E. (1979): L'Histoire giologique du bassin niogθne et quaternaire de la Thessalie - in B. Helly, ed., La Thessalie, Collection de la Maison de L'Orient Miditerranien 6, Sirie Archiologique 5. Lyon, 43-50.

SOGREAH GRENOBLE (1974): Μελέτη αναπτύξεως υπογείων υδάτων πεδιάδος Θεσσαλίας. Τελική Έκθεσις. R 11971. Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/νση Γεωργικής Αναπτύξεως και Ερευνών & Υ.Ε.Β., Δεκέμβριος 1974.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1851-1858, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1851-1858, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΠΕΔΑΦΙΚΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΩΝ ΦΑΡΣΑΛΩΝ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ) ΩΣ ΚΑΘΟΡΙΣΤΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ*

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ[1], Σ. ΛΕΚΚΑΣ[1], Τ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ[2], Α. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ[1], Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ[1], Ι. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ[2], Ε. ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ[3], Ι. ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ[1], Δ. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ[1], Ε. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Η εφαρμογή, στη λεκάνη των Φαρσάλων, της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού του καρστικού υδροφορέα, απαίτησε τη μελέτη της γεωμετρίας του ανθρακικού υποβάθρου της περιοχής. Για το σκοπό αυτό συνδυάστηκαν στοιχεία από τη λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση, τη γεωφυσική έρευνα, ερευνητικές γεωτρήσεις, καθώς και όλα τα διαθέσιμα προϋπάρχοντα στοιχεία. Από τη σύνθεση όλων αυτών των στοιχείων προέκυψε ο υπεδαφικός χάρτης της οροφής του ανθρακικού υποβάθρου, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.

ABSTRACT

The application of the method of artificial recharge on the karstic aquifer of the Farsala basin (Thessaly), required the thorough study of the geometry of the carbonate basement of the area. For this purpose, data deriving from the geological mapping, the geophysical research, sampling boreholes as well as all the available sources, were combined. The reconstruction of the buried contact between the carbonate basement and the overlaying sedimentary formations, based on this data, followed. This structure proved to play a determining role in the hydrogeological conditions of the area.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη λεκάνη των Φαρσάλων, και ειδικότερα στο τμήμα της λεκάνης κοντά στο Φυλλήϊον Όρος (περιοχή Υπέρειας-Ορφανών), στα πλαίσια της έρευνας για τη δυνατότητα τεχνητού εμπλουτισμού των καρστικών υδροφορέων της περιοχής, μελετήθηκε η τεκτονική δομή κάτω από τις τεταρτογενείς αποθέσεις. Για το σκοπό αυτό, εκτός από τη λεπτομερή γεωλογική – τεκτονική χαρτογράφηση, πραγματοποιήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις με σκοπό τον προσδιορισμό της γεωμετρίας του αλπικού ανθρακικού αναγλύφου κάτω από τις μεταλπικές κλαστικές αποθέσεις. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών διασκοπήσεων και των γεωλογικών δεδομένων παρουσιάζονται με τη μορφή υπεδαφικού χάρτη.

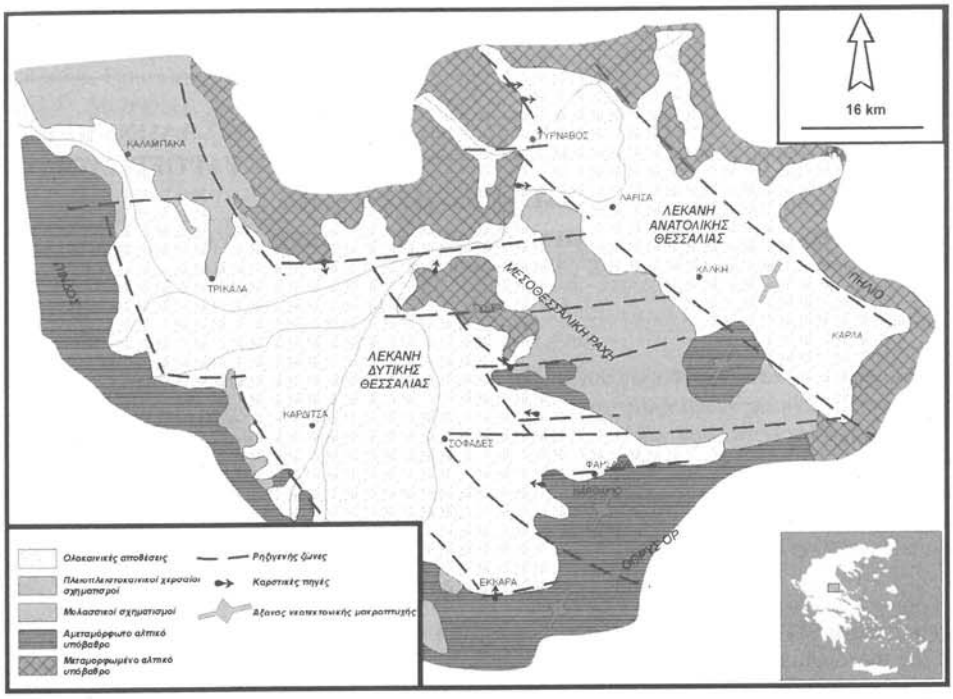
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη νοτιοδυτική πλευρά της Μεσοθεσσαλικής Ράχης και καλύπτει την ανατολική απόληξη της λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας. Πρόκειται για τη μεταβατική ζώνη μεταξύ του τεκτονικού κέρατος του όρους Όθρυς και του μικρότερης τάξης τεκτονικού κέρατος του Φυλλήιου όρους (**Εικόνα 1**).

Με τη χρήση CAD συστήματος ("SURPAC2000", 1995(a,b)) κατασκευάστηκε η επιφάνεια της επαφής μεταξύ του αλπικού ανθρακικού υποβάθρου και των κλαστικών μεταλπικών αποθέσεων. Στο ψηφιακό μοντέλο της τοπογραφίας προβάλλονται οι γεωλογικές επαφές, ώστε να αποκτήσουν την τρισδιάστατη θέση τους στο χώρο. Στη συνέχεια κατασκευάζεται η επιφάνεια που αντιπροσωπεύουν αυτές, χρησιμοποιώντας και όποια άλλα ποσοτικά ή ποιοτικά στοιχεία υπάρχουν για τη γεωμετρία τους, γενικές διευθύνσεις τεκτονικών δομών της περιοχής (πτυχώσεις, ρήγματα) καθώς και αποτελέσματα γεωφυσικών διασκοπήσεων και ερευνητικών γεωτρήσεων. Ο συνδυασμός αυτών των στοιχείων μας επιτρέπει να κατασκευάσουμε την υπόγεια γεωμετρία της επιφάνειας που μας ενδιαφέρει.

---

* THE SUBSURFACE TECTONIC STRUCTURE OF THE FARSALA BASIN (THESSALY) AS DETERMINING FACTOR OF THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE REGION.

1. Univ. of Athens, Fac. of Geology, Department of Dynamic-Tectonic-Applied Geology, Panepistimioupoli Zografou, 157 84, Athens, GREECE, e-mail: mariolakos@geol.uoa.gr
2. Univ. of Athens, Fac. of Geology, Department of Geophysics and Geothermics
3. F.U. Berlin, Institut f. Geologie, Geophysik & Geoinformatik, FR Geoinformatik, Malteserstr. 74 –100, Haus D, D-12249 Berlin, GERMANY, e-mail: vangelis@zedat.fu-berlin.de



Εικόνα 1: Η περιοχή μελέτης και οι νεοτεκτονικές μακροδομές στον ευρύτερο χώρο της Θεσσαλικής λεκάνης.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ - ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Η περιοχή μελέτης δομείται από αλπικής ηλικίας σχηματισμούς που ανήκουν στη γεωτεκτονική ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας, περιβάλλεται δε από μεταλπικές αποθέσεις (**Εικόνα 2**).

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί που είναι και οι νεότεροι αποτελούνται από:

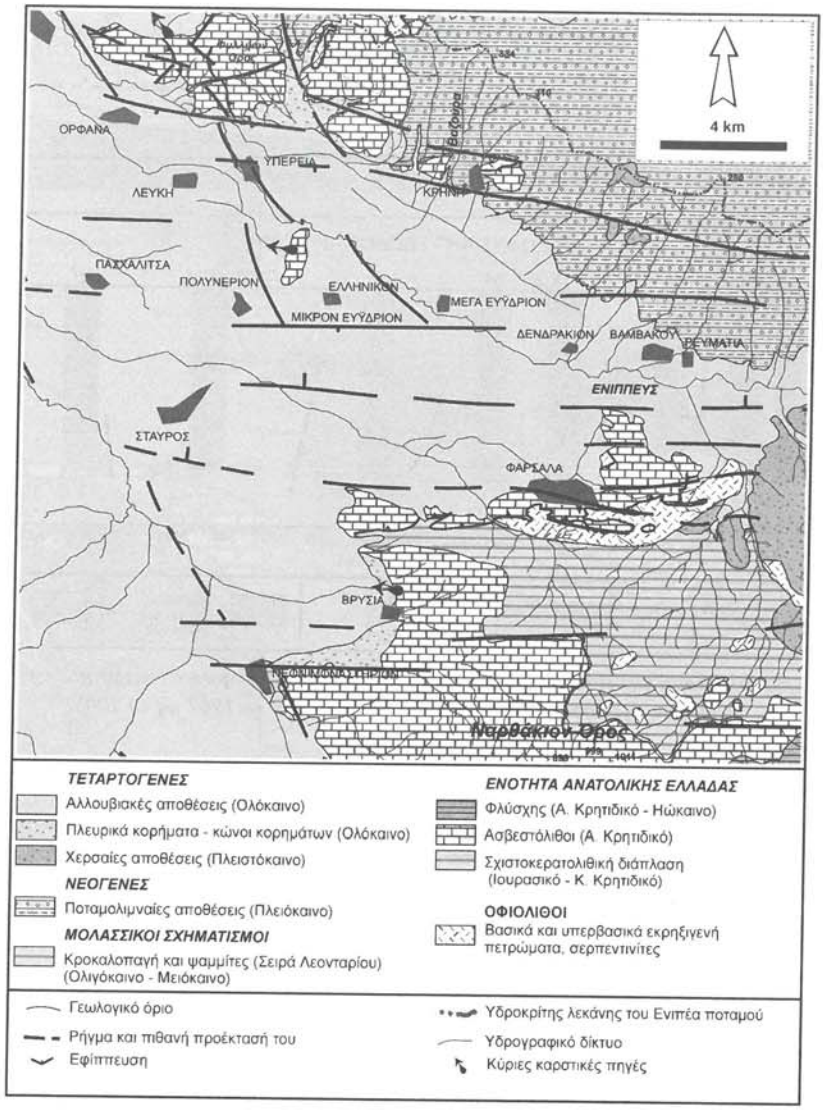
Ολοκαινικές πρόσφατες αποθέσεις: Πρόκειται για ιζήματα αλλουβιακής ως επί το πλείστον προέλευσης, αποτελούμενα από αμμώδεις και ιλυώδεις ποτάμιες αποθέσεις, ολοκαινικής ηλικίας. Τοπικά αναπτύσσονται κώνοι κορημάτων στα περιθώρια των μορφολογικών εξάρσεων. Το υλικό και το πάχος τους μεταβάλλεται από θέση σε θέση και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα υλικά τροφοδοσίας, το παλαιοανάγλυφο αλλά και από τις παλαιοκλιματολογικές συνθήκες.

Οι **πλειστοκαινικές αποθέσεις** αποτελούνται αποκλειστικά από χερσαίες αποθέσεις και απαντώνται ως υλικά πλήρωσης της λεκάνης των Φαρσάλων. Οι περισσότερες από τις αποθέσεις είναι ποτάμιες ή αποτελούνται από αλλουβιακά ριπίδια και κώνους κορημάτων (Schneider, 1979) . Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των αποθέσεων είναι ότι έχουν σαν βασική πηγή τροφοδοσίας την περιοχή της Όθρυος (χαρακτηριστική η παρουσία θραυσμάτων ραδιολαριτών).

Νεογενείς ποταμο-λιμναίους σχηματισμούς. Αποτελούνται από ερυθρούς πηλούς, αργιλοαμμώδη υλικά μικρής συνεκτικότητας με διάσπαρτες κροκαλολατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης χωρίς προσανατολισμό και κροκαλολατυποπαγή με στοιχεία που φθάνουν μέχρι και 1m μεγάλη διάμετρο. Οι λιμναίες αποθέσεις αποτελούνται από εύθρυπτες τεφρές έως υπόλευκες μάργες σε στρώματα πάχους 5-20cm με κατά θέσεις ψαμμιτικές και κροκαλοπαγείς ενδιαστρώσεις.

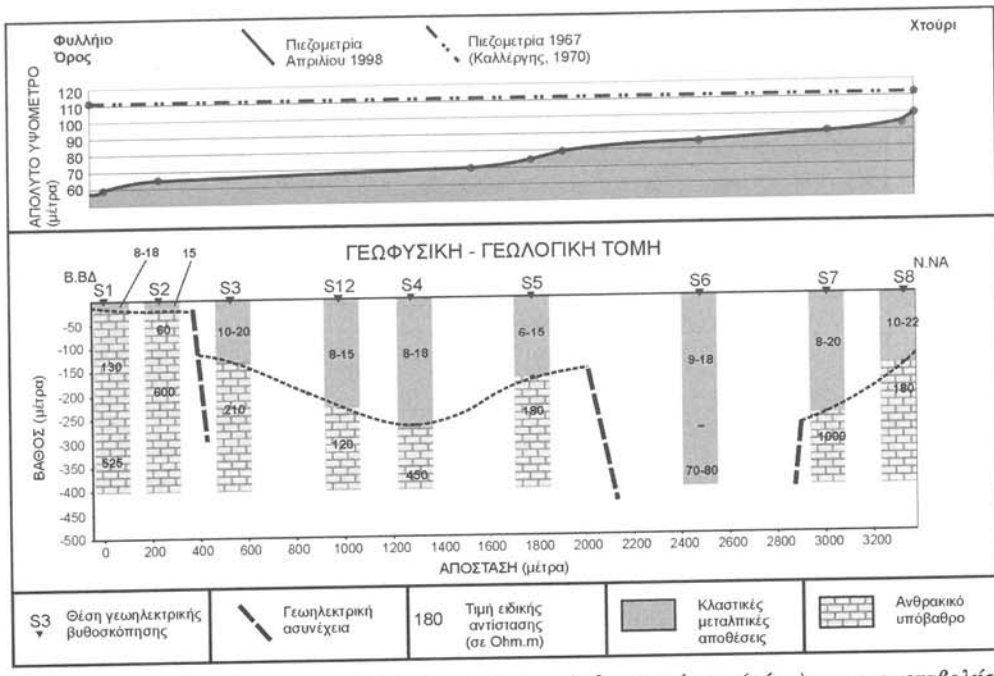
Οι **αλπικοί σχηματισμοί** που αποτελούν το υπόβαθρο των προσχώσεων στο μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδας (βόρεια και ανατολικά), ανήκουν στην **ενότητα Ανατολικής Ελλάδας** και αποτελούνται από τα ακόλουθα πετρώματα:

- **Φλύσχης:** Πρόκειται για κλαστικές αποθέσεις αποτελούμενες από αργιλικούς ψαμμίτες, σχίστες καθώς και κροκαλοπαγή με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων. Εμφανίζεται κατά θέσεις στα ανατολικά - νοτιοανατολικά περιθώρια της υπό εξέταση περιοχής, υπέρκειται κανονικά του επόμενου σχηματισμού, και η ηλικία του είναι ηωκαινική.
- **Ανωκρητιδικοί Ασβεστόλιθοι:** Πρόκειται για επικλυσιγενείς ασβεστόλιθους με μαργαϊκές ενδιαστρώσεις και παρεμβολές άστρωτων ή παχυστρωματωδών ασβεστολίθων που στα κορυφαία στρώματα μεταπίπτουν



Εικόνα 2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

σε πλακώδεις λεπτοπλακώδεις. Οι πλακώδεις - λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι είναι πτυχωμένοι με άξονες πτυχών διεύθυνσης Α-Δ. Οι άστρωτοι λατυποπαγείς νηριτικοί ασβεστόλιθοι είναι περισσότερο καρστικοποιημένοι από τους πλακώδεις λεπτοπλακώδεις. Οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι στο σύνολό τους δεν είναι ενιαίοι. Έτσι διακρίνονται σε λατυποπαγείς άστρωτους και μικριτικούς πλακώδεις - λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους που είναι λεπιωμένοι τόσο μεταξύ τους όσο και με τους οφιόλιθους. Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (ΙΓΜΕ φύλλο ΦΑΡΣΑΛΑ -Μπορνόβας Ι. κ.ά., 1975), Sogreah, 1974) οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι δεν είναι έντονα παραμορφωμένοι. Όμως, η συστηματική μελέτη της παραμόρφωσης των αλπικών σχηματισμών στην περιοχή έδειξε ότι οι αλπικοί σχηματισμοί παραμορφώνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα τόσο κατά τον αλπικό κύκλο ορογένεσης όσο και κατά την πολύ πρόσφατη νεοτεκτονική περίοδο. Αποτέλεσμα της πρώτης παραμόρφωσης ήταν η δημιουργία δομών πλαστικού χαρακτήρα (πτυχές συνήθως κλειστές) με άξονες διεύθυνσης Α-Δ όσο και ρηγμάτων ίδιας διεύθυνσης. Αυτός ο τεκτονικός ιστός συνέχισε να παραμορφώνεται και κατά την πρόσφατη νεοτεκτονική περίοδο, η οποία και του καθόρισε τη σημερινή γεωμετρία. Οι δομές που έχουν προκύψει από αυτή την παραμόρφωση είναι τόσο πλαστικές (μεγάλες



Εικόνα 3: Συγκριτική τομή της ερμηνείας των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (κάτω) και της μεταβολής της στάθμης της υδροφορίας στην ίδια περιοχή από το 1967 ως το 1998.

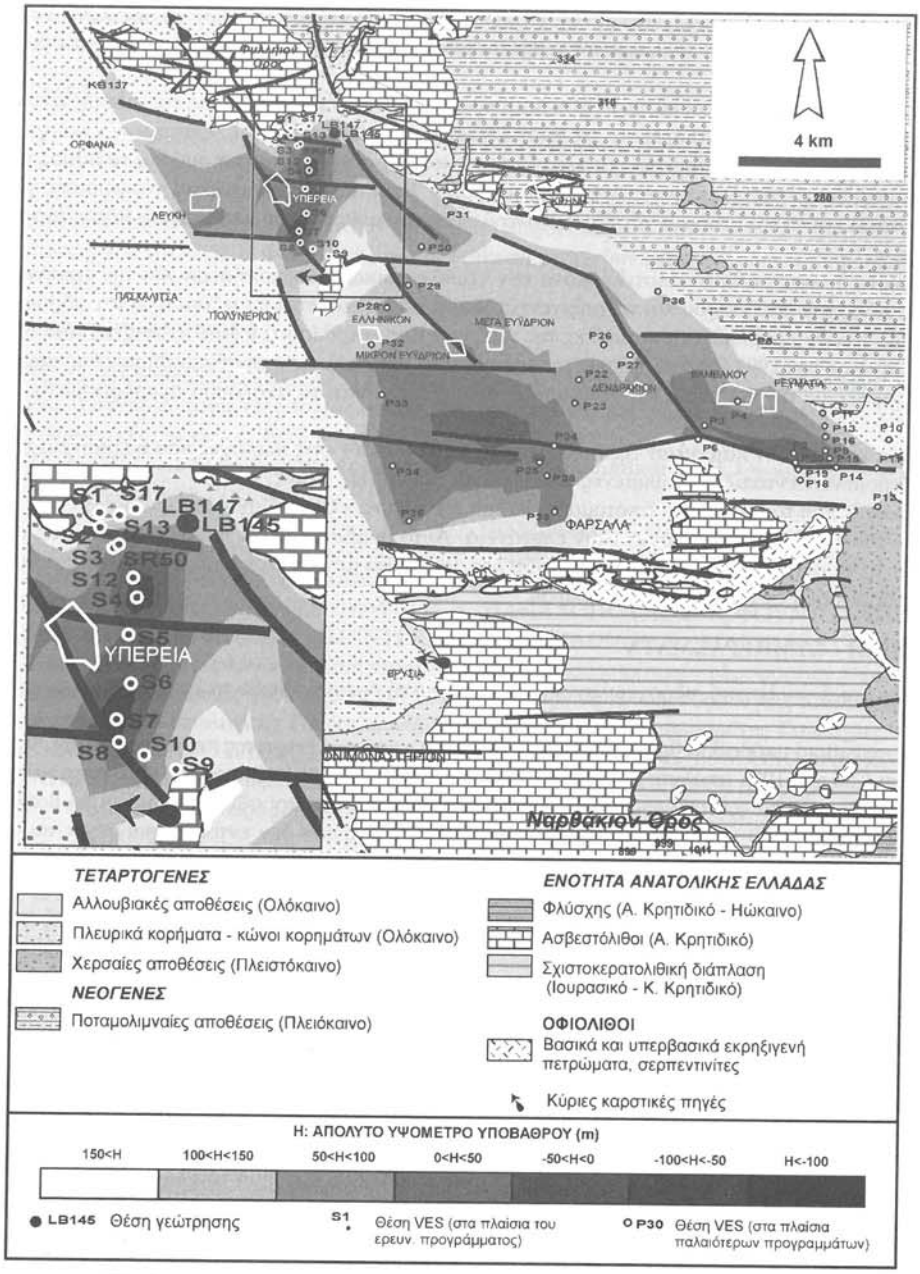
ανοικτές πτυχές με άξονα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ) όσο και θραυσιγενείς, λεπιώσεις και ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ *et al.*, 1999, 2000).

- **Οφιόλιθοι:** Περιλαμβάνει σερπεντινίτες, περιδοτίτες και δουνίτες που υπόκεινται των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων, η δε τοποθέτησή τους πάνω στα ιζήματα της τριαδικοϊουρασικής πλατφόρμας έγινε πριν το Ανώτερο Κρητιδικό. Εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα του Ναρθάκιου κοντά στα Φάρσαλα.
- **Σχιστοκερατολιθική διάπλαση:** Κερατόλιθοι και αργιλικοί σχίστες με σπάνιες ενστρώσεις κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων. Εμφανίζεται στα νοτιοανατολικά - ανατολικά περιθώρια της περιοχής έρευνας. Για την ηλικία του ανωτέρω σχηματισμού δεν μπορούν να γίνουν σαφείς εκτιμήσεις, αλλά με βάση στρωματογραφικούς συσχετισμούς πρέπει να είναι το Ιουρασικό.

3. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η γεωφυσική έρευνα πραγματοποιήθηκε στο πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης και πιο ειδικά στο τμήμα μεταξύ των λόφων Χτουρίου και Φυλλήιου, προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει απευθείας επικοινωνία των δύο καρστικών υδροφορέων. Για τη μελέτη κατανομής της ειδικής αντίστασης πλευρικά και σε βάθος, εκτελέσθηκαν 17 γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις (**Εικόνα 4**) και χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger με μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος (AB) 2000 μέτρων, με εκτιμώμενο βάθος έρευνας μεγαλύτερο των 250-300 μέτρων. Οι μετρήσεις ελήφθησαν με όργανα υψηλής πιστότητας και ευκρίνειας (Terrameter SAS 300 B με Booster SAS 2000), η δε επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων υπαίθρου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση υπολογιστικού προγράμματος που βασίζεται στη μέθοδο αντιστροφής του ZOHDY (1989) και το RESIXP-plus. Για την κατασκευή του υπεδαφικού χάρτη της οροφής του ανθρακικού υποβάθρου, ελήφθησαν υπόψη και αξιολογήθηκαν γεωφυσικά στοιχεία (36 γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις) παλαιότερων γεωερευνητικών μελετών (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Έκθεση ΙΓΜΕ, 1971).

Για την αξιολόγηση των γεωφυσικών αποτελεσμάτων απαιτείται η σύγκριση ή συσχέτιση μεταξύ των γεωλογικών (σχηματισμών) και γεωφυσικών (τιμών ειδικής αντίστασης των σχηματισμών) στοιχείων. Στη συγκεκριμένη έρευνα, τα γεωφυσικά δεδομένα βαθμονομήθηκαν με μετρήσεις σε ερευνητικές γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν σε επιλεγμένες θέσεις. Παράλληλα, ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση δεκαεννέα (19) 'επί τόπου' γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων, μικρού σχετικά αναπτύγματος ηλεκτροδίων ρεύματος (AB), σε θέσεις εμφάνισης του αλπικού υποβάθρου (*in situ*), με σκοπό τον προσδιορισμό της



Εικόνα 4: Υπεδαφικός τεκτονικός χάρτης με τα σημεία διασκοπήσεων.

ειδικής αντίστασης των σχηματισμών στη θέση εμφάνισης τους. Οι *in situ* τιμές ειδικής αντίστασης παρουσιάστηκαν υψηλότερες από εκείνες που προσδιορίσθηκαν από τις γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Υπέρειας, λόγω κυρίως της ξηράς εποχής διεξαγωγής των μετρήσεων υπαίθρου.

Από την επεξεργασία των μετρήσεων, τόσο στις θέσεις των γεωτρήσεων, όσο και στις επιφανειακές εμφανίσεις των σχηματισμών, προέκυψε ότι:

- Οι κλαστικές μεταλπικές αποθέσεις παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών ειδικών αντιστάσεων 15-60 Ohm.m. Η μέση ειδική αντίσταση υπολογίστηκε στα 45 Ohm.m.
- Οι ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν γενικά ένα εύρος τιμών ειδικών αντιστάσεων 200-2000 Ohm.m

και κατά θέσεις (S1, S2 και S12) τιμές μικρότερες των 200 Ohm.m, που πιθανόν να οφείλονται στον υψηλό βαθμό καρστικοποίησης των ανθρακικών σχηματισμών. Η μέση ειδική αντίσταση υπολογίστηκε στα 1000 Ohm.m.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις *in situ* μετρήσεις της ειδικής αντίστασης σε γνωστούς γεωλογικούς σχηματισμούς και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης 3 γεωτρητικών και γεωφυσικών στοιχείων, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μία πληρέστερη εικόνα για τον χαρακτηρισμό και το βάθος των γεωλογικών σχηματισμών με τις ηλεκτρικές τους παραμέτρους. Έτσι, κατασκευάστηκαν γεωφυσικές-γεωλογικές τομές (**Εικόνα 3**) και σχεδιάστηκε ο χάρτης του αναγλύφου του ανθρακικού υποβάθρου, κάτω από τις κλαστικές αποθέσεις.

Στην **Εικόνα 3**, εκτός από τα αποτελέσματα των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων και την ερμηνεία τους σε σχέση με το είδος του υπόβαθρου και τις ρηξιγενείς δομές, παρουσιάζεται η πιεζομετρία του υδροφορέα στην ίδια περιοχή. Έχουν προβληθεί οι καμπύλες της πιεζομετρίας Απριλίου του 1967 (στοιχεία από Καλλέργης, 1970) και Απριλίου του 1998 (από μετρήσεις της ερευνητικής ομάδας). Από τη σύγκριση των δυο καμπυλών και την αντιπαραβολή με την ερμηνεία της γεωφυσικής τομής, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα σημεία καμπής των καμπυλών της πιεζομετρίας αντιστοιχούν στις περιοχές που η ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων εντοπίζει καλυμμένες από ιζήματα ρηξιγενείς ζώνες.
- Στις περιοχές που ταπεινώνεται απότομα η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, το υπόβαθρο των καρστικών ασβεστόλιθων βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει διότι η υπεράντληση στις αρδευτικές γεωτρήσεις, οι οποίες κάθε χρόνο είναι βαθύτερες, προκαλεί μεγαλύτερη ταπείνωση στη στάθμη του καρστικού υδροφορέα σε σχέση με τον κοκκώδη.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συστηματική γεωλογική, υδρογεωλογική και γεωφυσική έρευνα έδειξε τα ακόλουθα:

- Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο βρίσκεται σε μεγάλα βάθη προς το κέντρο της περιοχής μεταξύ Χτουρίου και Φυλλήιου (-50 ως -100μ απόλυτο υψόμετρο), ενώ στη θέση της βυθοσκόπησης S6 βρίσκεται κάτω από τα -100 μέτρα. Επειδή τα αποτελέσματα των διασκοπήσεων θεωρήθηκαν αξιόπιστα μέχρι το βάθος των 300 μέτρων (περίπου –150 μέτρα απόλυτο υψόμετρο), στις θέσεις που δεν εντοπίστηκε μέχρι τα –100 μέτρα (απόλ. υψόμ.) το ανθρακικό υπόβαθρο, εκτιμάται ότι βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη. Μεταξύ των βυθοσκοπήσεων S6 & S7, οριοθετείται μία ζώνη εύρους 1000-1200 μέτρων, όπου το ασβεστολιθικό υπόβαθρο βρίσκεται σε μεγάλο βάθος και έχει μετατοπισθεί τεκτονικά. Ανάμεσα από τις βυθοσκοπήσεις S6 & S7 διέρχεται σήμερα ο ποταμός Ενιπέας. Το ασβεστολιθικό υπόβαθρο βρίσκεται επίσης σε μεγάλα βάθη ανατολικά του λόφου Χτουρίου στον οικισμό Ελληνικού και βόρεια της βυθοσκόπησης S28 με βάση τα στοιχεία του ΙΓΜΕ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Έκθεση ΙΓΜΕ, 1971). Η τιμή της ειδικής αντίστασης 200 Ohm.m κάτω από τη βυθοσκόπηση P28 ερμηνεύεται ότι αντιστοιχεί σε ασβεστολιθικό σχηματισμό, ενώ οι τιμές 22 και 35 Ohm.m που παρουσιάζονται κάτω από τις βυθοσκοπήσεις P29, P30 & P31, αντιστοιχούν σε πλειο-πλειστοκαινικούς σχηματισμούς, που αποτελούνται από αργίλους είτε αμιγείς είτε με εναλλαγές ψαμμιτών ή κροκαλοπαγών. Η προς ανατολάς παρουσία του ασβεστολιθικού υλικού στις βυθοσκοπήσεις P33, P32 & P28, με βάση τα στοιχεία του ΙΓΜΕ (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Έκθεση ΙΓΜΕ, 1971), πιθανόν να συνδράμει στην κατανόηση της πλευρικής τροφοδοσίας του ασβεστολιθικού όγκου του λόφου Χτουρίου, όπου έχει εντοπισθεί υψηλή υδροφορία.
- Οι θέσεις στις οποίες δεν έχει εντοπιστεί το υπόβαθρο εκτιμάται ότι συμπίπτουν με ρηξιγενείς ζώνες καλυμμένες από ιζήματα.
- Η υπόγεια επικοινωνία των ασβεστολιθικών όγκων του λόφου Χτουρίου και των βορείως ευρισκομένων ασβεστολιθικών όγκων (όρος Φυλλήιον), διακόπτεται βόρεια της βυθοσκόπησης S7 τουλάχιστον μέχρι τα –100 μέτρα α.υ.(βλ. Εικ. 3).
- Η υδροφορία μέσα στις κλαστικές μεταλπικές αποθέσεις κατά περίπτωση είναι πλούσια και οφείλεται στους αδρομερείς κυρίως σχηματισμούς (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή κ.λ.π.). Στην περίπτωση αυτή οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων παρουσιάζονται σχετικά υψηλότερες (περίπου 70-80 Ohm.m). Μια τέτοια περιοχή έχει εντοπισθεί κάτω από τη βυθοσκόπηση S6, όπου σε απόλυτο υψόμετρο -150 μέτρων έχει εντοπισθεί αδρομερής σχηματισμός με πιθανή πλούσια υδροφορία.
- Η συνολική υπεδαφική εικόνα της οροφής του ανθρακικού υπόβαθρου στην περιοχή μεταξύ Φυλλήιου, Χτουρίου και Φαρσάλων δείχνει ότι κάτω από την πεδιάδα υπάρχουν τεκτονικά κέρατα και βυθίσματα 2ης

και 3ης τάξης, που οριοθετούνται με ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ. Συνεπώς, οι συνθήκες υδροφορίας αλλά και η σχέση κοκκώδους και καρστικού υδροφορέα μεταβάλλονται ανάλογα.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Υπουργείο Γεωργίας και ειδικά τη Διεύθυνση Γεωλογίας Υδρολογίας και Μαθηματικών Ομοιωμάτων, με τη χρηματοδότηση του οποίου έγινε δυνατή η εκπόνηση της Υδρογεωλογικής Μελέτης Τεχνητού Εμπλουτισμού Καρστικών Υδροφορέων Περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας) -Υπέρειας (Ν. Λάρισας), τμήμα των αποτελεσμάτων της οποίας παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, καθώς και την ΥΕΒ Λάρισας και τον ΤΟΕΒ Φαρσάλων για τη διάθεση στοιχείων απαραίτητων για την εκπόνηση του έργου.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., ΜΟΡΦΗΣ, Α., ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Χ., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Θ. (1973): Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, Αρ.8, σελ.166.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1970): Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας (Δυτ. Θεσσαλία). Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, τομ.XIV, Νο 1, Αθήνα.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., ΠΕΡΛΕΡΟΣ, Β., ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Μ., 1997, Προσχωματικές και καρστικές υδροφορίες του Θεσσαλικού κάμπου. Νεώτερα στοιχεία για το καθεστώς της υπερεκμετάλλευσής τους. *Πρακτικά 4ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ελλ. Επιτρ. Υδρογεωλογίας της Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.*. Σελ. 243-258, Θεσσαλονίκη, 1997.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΛΕΚΚΑΣ, Σ., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Τ., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., SCHNEIDER, Η., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Ι., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ, Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Δ., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, Ε., 1999, Υδρογεωλογική μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού καρστικών υδροφορέων περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας) -Υπέρειας (Ν. Λάρισας). Υπουργείο Γεωργίας Δ/νση Υδρολογίας-Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής-Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ Ε., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ Ι., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Δ. & ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ Μ. (2000). Η γεωμετρία του υπόγειου υδροφορέα στο Ναρθάκιο όρος (Θεσσαλία) ως αποτέλεσμα της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης. Πρακτικά, 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελλ. Υδροτεχνικής Ένωσης. Ε.Υ.Ε., ΑΘΗΝΑ

ΜΠΟΡΝΟΒΑΣ, Ι., ΦΙΛΛΙΠΑΚΗΣ, Κ. 1964, Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας, φύλλο Φάρσαλα, κλ. 1/50.000, Εκδόσεις ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ν. (1971): Γεωηλεκτρική αναγνωριστική έρευνα εις α. Περιοχήν Φαρσάλων και β. Περιοχήν Τυρνάβου, Ι.Γ.Ε.Υ., XXVII, Αθήνα

SCHNEIDER, H.E. (1979): L'Histoire géologique du bassin néogène et quaternaire de la Thessalie - in B. Helly, ed., La Thessalie, Collection de la Maison de L'Orient Méditerranéen 6, Série Archéologique 5. Lyon, 43-50.

SOGREAH GRENOBLE 1974, Μελέτη αναπτύξεως υπογείων υδάτων πεδιάδος Θεσσαλίας. Τελική έκθεση, R 11971, Υπουργ. Γεωργίας, Δ/νση Γεωργ. Αναπτ. & ΥΕΒ.

SURPAC SOFTWARE INTERNATIONAL (ed.) 1995: a. Core Management System Users Reference - SSI Installation and Setup Manual. Surpac Software International; Perth, Western Australia.

SURPAC SOFTWARE INTERNATIONAL (ed.) 1995: b. Entec - Generic Tools Reference. Surpac Software International; Perth, Western Australia.

ZOHDY, A.A.R. (1989). "A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner soundings curves". Geophysics, vol. 54, 2: 245-253

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1859-1868, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1859-1868, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΠΕΔΙΝΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ (ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ)*

Θ. ΝΑΓΚΟΥΛΗΣ[1], Κ. ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ[2]

ΣΥΝΟΨΗ

Η πεδινή ζώνη της λεκάνης του Ανθεμούντα βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού Θεσσαλονίκης. Ως περιαστική ζώνη της πόλης της Θεσσαλονίκης, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους πόλους έλξης για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων που αφορούν τον πρωτογενή και το δευτερογενή τομέα της παραγωγής. Ο συνεχώς αυξανόμενος ρυθμός της οικιστικής ανάπτυξης, η σταδιακή εγκατάσταση βιομηχανιών και βιοτεχνιών και οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε αγροτικά προϊόντα έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης του υπόγειου νερού. Η κατανάλωση του υπόγειου νερού, που το έτος 1998 έφτασε τα 23.610.000 m^3, προκάλεσε την ταπείνωση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων σε όλη την έκταση της λεκάνης και οδήγησε στην υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Η ζωτική σημασία της πεδιάδας του Ανθεμούντα στην ανάπτυξη του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης αλλά και ολόκληρου του νομού έκανε επιτακτική την ανάγκη της μελέτης του υδατικού δυναμικού της περιοχής. Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια προσέγγισης του καθεστώτος που επικρατεί στην περιοχή λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους, ενώ παράλληλα αξιοποιώντας τις παραμέτρους αυτές διατυπώθηκαν προτάσεις για την αντιμετώπιση των αναμενόμενων προβλημάτων.

ABSTRACT

The basin of Anthemounta is located on the West - East area of Thessaloniki prefecture, close to the city of Thessaloniki, in Macedonia, Greece. Into the wide area of the basin of Anthemounta a lot of development activities take place, concerning the primary and the secondary section of production. The extensive built-up areas, the numerous industries and the extensive cultivated fields require big quantities of ground water. The estimated quantities of water that were consumed during the year of 1998 were 23.610.000 m^3. That consumption has caused an extensive drop of the piezometric surfaces of the ground water layers. The extensive drop caused an important downgrade of the water quality. The main reason that caused the downgrade of the water quality is the penetration of the low quality seawater and the penetration of the water located on the west side of the basin. All these facts obliged the local authorities to assign a study concerning the conditions of the ground water reservoirs. This paper reports the conditions that take place into the water layers. Also, in this paper many propositions are mentioned in order to avoid the foreseen problems. The main proposition is the creation of a management organization, responsible for the management of all the environmental aspects including the management of the ground water.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδρολογική λεκάνη Ανθεμούντα, καθεστώς-ποιότητα υδροφόρων.
KEY WORDS: Basin of Anthemounta, ground water conditions - quality.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πεδιάδα του Ανθεμούντα βρίσκεται στα ανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και γενικότερα στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού. Στην έκταση αυτή περιλαμβάνονται δέκα συνεχώς αναπτυσσόμενοι οικισμοί ενώ παράλληλα παρατηρείται ιδιαίτερα αναπτυγμένη γεωργική δραστηριότητα και αξιόλογη βιομηχανική και βιοτεχνική συγκέντρωση. Επίσης, στην πεδιάδα του Ανθεμούντα βρίσκεται το γεωθερμικό πεδίο των Λουτρών της Θέρμης και η πηγή των ανθρακούχων μεταλλικών νερών της Σουρωτής.

Η ζωτική σημασία της πεδιάδας του Ανθεμούντα στην ανάπτυξη του Πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης αλλά και ολόκληρου του νομού έκανε επιτακτική την ανάγκη της μελέτης του υδατικού δυναμι-

* HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE PLAIN AREA OF THE ANTHEMOUNTA BASIN (MACEDONIA, GREECE).

1. Κ. Ντόγρα 15, Θεσσαλονίκη.
2. ΑΠΘ, Τμήμα Γεωλογίας, Εργ. Τεχν.Γεωλ. και Υδρογεωλ., Θεσ/νίκη.

κού της περιοχής. Η παρούσα δημοσίευση αποτελεί τμήμα της μελέτης που ανατέθηκε από το Συμβούλιο της 1ης εδαφικής περιφέρειας Θεσσαλονίκης στην ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Α.Ε. Η συλλογή και η αξιολόγηση των στοιχείων έγινε από τους συγγραφείς της εργασίας ενώ η επιμέλεια των χαρτών έγινε από την ΧΩΡΟΤΕΧΝΙΚΗ Α.Ε.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα αποτελεί προέκταση της ευρύτερης λεκάνης της Θεσσαλονίκης και στο σύνολό της αποτελεί τεκτονικό βύθισμα. Το βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Περιροδοπικής (Ενότητες Άσπρη Βρύση – Χορτιάτης) με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ενώ το Νοτιοδυτικό τμήμα ανήκει στη γεωτεκτονική Ζώνη Αξιού (Ενότητα Παιονίας).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην εξεταζόμενη περιοχή διακρίνονται στους προ-τριτογενείς σχηματισμούς που κατέχουν τα πρανή και το υπόβαθρο της λεκάνης και τους μετα-τριτογενείς σχηματισμούς (Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις) που καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και καλύπτουν κυρίως το πεδινό τμήμα και τους πρόποδες των βουνών που περιβάλλουν τη λεκάνη (Παπαγεωργάκης, Ι., Κουμαντάκης, Ι., 1978).

Το προ-τριτογενές υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται από μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του υποβάθρου και αποτελούνται από φυλλίτες και γνεύσιους που κατά θέσεις παρουσιάζουν ενστρώσεις μαρμάρων και κρυσταλλικών ασβεστόλιθων.

Τα πυριγενή πετρώματα του υποβάθρου είναι όξινα (Γρανίτες) και βασικά – υπερβασικά (Γαύροι, Περιδοτίτες και Δουνίτες). Τα όξινα πετρώματα συναντώνται στη νότια πλευρά της λεκάνης, ενώ τα βασικά και υπερβασικά στη βόρεια πλευρά της λεκάνης.

Τα ιζήματα που πλήρωσαν τη λεκάνη του Ανθεμούντα συνίστανται από αποθέσεις του Νεογενούς, του Πλειστόκαινου και του Ολόκαινου.

Οι σχηματισμοί του Νεογενούς χαρακτηρίζονται από δύο φάσεις αποθέσεων. Οι φάσεις αυτές είναι η φάση των κροκάλων με άμμους και η φάση των μαργών και αργίλων. Η πρώτη φάση συναντάται κυρίως στα κράσπεδα της λεκάνης (Αγία Παρασκευή, Σουρωτή, Άγιος Αντώνιος), ενώ η δεύτερη αποτελεί την πλευρική μετάβαση της προηγούμενης φάσης και εντοπίζεται στην ΝΔ πλευρά της λεκάνης (Νέο Ρύσιο, Τρίλοφο) και στη Β και ΒΔ πλευρά στα βαθύτερα σημεία των χαραδρών.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις καταλαμβάνουν σχεδόν όλο το πεδινό τμήμα της λεκάνης και εν μέρει τις περιοχές που βρίσκονται στις παρυφές των βουνών. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από ερυθροπηλούς, άμμους, κροκάλες και λατύπες.

Οι αποθέσεις του Ολόκαινου εντοπίζονται κυρίως στα μορφολογικά χαμηλότερα τμήματα της λεκάνης. Η προέλευση των αποθέσεων αυτών είναι χερσαία και το πάχος τους, σύμφωνα με στοιχεία γεωτρήσεων, δεν υπερβαίνει τα πενήντα μέτρα.

Η λεκάνη του Ανθεμούντα κατέστη ανεξάρτητη από την ευρύτερη λεκάνη της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια τοπικών τεκτονικών επεισοδίων που έλαβαν χώρα στο τέλος του Νεογενούς και στις αρχές του Τεταρτογενούς και είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγμάτων με διεύθυνση ΑΝΑ – ΔΒΔ. Το νεαρό της ηλικίας των συγκεκριμένων ρηγμάτων υποδηλώνεται και από τις αναβλύσεις θερμομεταλλικών πηγών που παρατηρούνται σε διάφορες θέσεις κατά μήκος τους (Αγία Παρασκευή, Σουρωτή).

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Από την αξιολόγηση των γεωτρητικών προφίλ σε περισσότερες από 100 γεωτρήσεις και πιεζόμετρα προκύπτει ότι στους προαναφερόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς εντοπίζονται τρεις διαφορετικοί υδροφόροι ορίζοντες οι οποίοι αλληλοτροφοδοτούνται. Οι υδροφόροι ορίζοντες είναι οι εξής:

Φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας.

Ο φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας αναπτύσσεται μέσα στις ολοκαινικές αποθέσεις και συνίσταται από άμμους και κροκάλες μέσα στις οποίες παρατηρούνται εκτεταμένες αργιλικές ενστρώσεις. Η τροφοδοσία του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα πραγματοποιείται μέσω της κατείσδυσης των κατακρημνισμάτων και της διήθησης των υδάτων που απορρέουν στην κοίτη του Ανθεμούντα και των παράπλευρων ρεμάτων.

Βαθεις ημι-υπο-πιεση επαλληλοι υδροφοροι οριζοντες.

Οι ημι-υπο-πίεση υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται σε βάθος από 50 ως 350 μέτρα μέσα στο σύστημα των σχηματισμών του Τεταρτογενούς και των αποθέσεων του Νεογενούς. Οι προαναφερόμενοι σχηματισμοί παρουσιάζουν εικόνα χαλαρών υδροφόρων μέτριας έως μεγάλης περατότητας που διακόπτονται από ενδιάμεσες υδατοστεγείς ενστρώσεις.

Οι ημι-υπο-πίεση υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται και μέσα στα εξαλλοιωμένα βασικά - υπερβασικά πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα του υποβάθρου που λόγω της αποσάθρωσης και του τεκτονισμού τους παρουσιάζουν σημαντική περατότητα.

Οι υδροφόροι ορίζοντες τροφοδοτούνται μέσω της διήθησης των υδάτων του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα και μέσω των πλευρικών μεταγγίσεων από απομακρυσμένες ζώνες τροφοδοσίας (Ι. Κουμαντάκης, κ.α. 1993).

Οι συγκεκριμένοι υδροφόροι παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλούσια υδροφορία, με παροχές που κυμαίνονται από 80 έως 140 m^3/h, στο τμήμα τους που βρίσκεται στο κέντρο της λεκάνης (εκατέρωθεν του Ανθεμούντα) και στις περιοχές της Αγίας Παρασκευής και της Σουρωτής. Στις περιοχές αυτές οι υδροφόροι αναπτύσσονται κυρίως μέσα στις Τεταρτογενείς αποθέσεις ενώ εκτείνονται και στα μάρμαρα του υποβάθρου.

Μικρή έως μέτρια υδροφορία παρουσιάζεται στις περιοχές της Αμερικάνικης Γεωργικής Σχολής, Βόρεια της Θέρμης, ΝΑ και ΝΔ του Τριαδίου και της Νέας Ραιδεστού. Στις προαναφερόμενες περιοχές οι υδροφόροι αναπτύσσονται μέσα στις ερυθρές αργίλους του Νεογενούς που περικλείουν φακούς αδρομερών υλικών.

Οι μικρότερες υδροφορίες παρουσιάζονται μέσα στα εξαλλοιωμένα βασικά και υπερβασικά πετρώματα και τους σχιστόλιθους του υποβάθρου. Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες από τις υδρογεωτρήσεις που υπάρχουν στη Λακκιά και στην περιοχή βόρεια των Βασιλικών, όπου λόγω της έντονης διάρρηξης των σχηματισμών του υποβάθρου (Οφειόλιθοι και Γαύροι) παρουσιάστηκαν παροχές της τάξης των 80 m^3/h.

Σύμφωνα με αναφορές, πολλές από τις γεωτρήσεις, βάθους 100 m, που κατασκευάστηκαν πριν από τη δεκαετία του 80 παρουσίαζαν αρτεσιανισμό. Το καθεστώς αυτό, όπως παρουσιάζεται και στους πιεζομετρικούς χάρτες των επόμενων παραγράφων, έχει πλέον ανατραπεί μεταβάλλοντας του υδροφόρους σε ημι-υπο-πίεση και δίνοντάς τους τη δυνατότητα να ρυπανθούν από τα υποδεέστερης ποιότητας νερά του φρεάτιου υδροφόρου και των αρτεσιανών υπό-πίεση υδροφόρων με τους οποίους γειτονεύουν.

Αρτεσιανός υπό πίεση υδροφόρος.

Νότια του άξονα Ταγαράδες - Σουρωτή και Νότια του κρασπεδικού ρήγματος όπου εντοπίζονται τα όξινα χλωριονατριούχα νερά, γεωτρήσεις μέσα στα Νεογενή ιζήματα και τον ασβεστόλιθο παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. Πρόκειται για ανεξάρτητο υδροφόρο σύστημα όπου οι στάθμες του σε πιεζόμετρα ελέγχου παρουσιάζουν σταθερότητα και μικρές έως ασήμαντες μεταβολές σε ετήσια βάση.

4. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΩΝ

Τα υπόγεια νερά της λεκάνης του Ανθεμούντα διακρίνονται σε δύο ομάδες με βάση το χημισμό τους.

Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τα υπόγεια νερά που βρίσκονται νότια του οδικού άξονα Ν. Ρυσσίου – Σουρωτής και νότια του Κρασπεδικού ρήγματος. Τα νερά της περιοχής αυτής είναι ιδιαίτερα υποβαθμισμένα και παρουσιάζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε Na, Ca, Cl (150–3000 mg/lit), HCO_3, Fe, B, καθώς επίσης και αυξημένη περιεκτικότητα σε αέρια CO_2 και H_2S. Χαρακτηριστικό των νερών αυτών είναι το έντονο κόκκινο χρώμα τους και η δυσάρεστη οσμή που προσδίδει το υδρόθειο. Η αγωγιμότητά τους παίρνει τιμές από 2200 – 12000 μS/cm και το pH από 5,8 – 7,2.

Από την ταξινόμηση των νερών της περιοχής αυτής με το τριγωνικό διάγραμμα του PIPER (1944) προέκυψε ότι με βάση τα ανιόντα που περιέχουν χαρακτηρίζονται ως Χλωριούχα ενώ με βάση τα κατιόντα χαρακτηρίζονται ως Νατριούχα ή Καλιούχα.

Στην ίδια ομάδα νερών εντάσσεται και η πηγή Βοσκίνα (Σουρωτής), η πηγή Αγίασμα (Αγίας Παρασκευής) καθώς επίσης και η πηγή μεταλλικού νερού (Σουρωτής).

Σημαντικές ομοιότητες με το χημισμό των νερών της ομάδας αυτής παρουσιάζουν και τα θερμά νερά των Λουτρών της Θέρμης. Τα νερά των Λουτρών περιέχουν μικρότερες ποσότητες ιόντων Ca και Mg ενώ και η περιεκτικότητά τους σε αέριο CO_3 είναι ελάχιστη. Η μειωμένη περιεκτικότητά τους σε ιόντα έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζουν και μικρότερες τιμές αγωγιμότητας (420 - 1100 μs/cm).

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τα υπόγεια νερά που βρίσκονται στην υπόλοιπη έκταση που καταλαμβάνει η πεδιάδα του Ανθεμούντα. Τα υπόγεια νερά της ομάδας αυτής παρουσιάζουν αξιόλογες διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα των διαλυμένων αλάτων ανάλογα με τη θέση τους μέσα στη λεκάνη.

Τα υπόγεια νερά που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και πιο συγκεκριμένα βόρεια του οδικού άξονα Θέρμης – Βασιλικών παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα διαλυμένων αλάτων και ειδικότερα ιόντων Na και Cl. Η αγωγιμότητά τους κυμαίνεται από 420 – 570 μS/cm και το pH τους από 7,5 - 8. Η χαμηλή τους περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα οφείλεται στο γεγονός ότι η κυκλοφορία τους γίνεται κυρίως μέσα σε πυριγενή πετρώματα.

Τα νερά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης παρουσιάζουν

πολύ μικρές διαφορές από τα νερά του βόρειου τμήματος της λεκάνης. Η αγωγιμότητα των νερών αυτών κυμαίνεται από 440 – 770 μs/cm ενώ το pH τους από 7,8 - 8,1. Μικρά προβλήματα παρουσιάζονται στην περιοχή βόρεια των Ταγαράδων και της Αγίας Παρασκευής όπου λόγω της πλευρικής μετάγγισης των υπόγειων υδάτων της πρώτης ομάδας παρατηρούνται αυξήσεις στις τιμές της περιεκτικότητας των ιόντων Cl, Na, Fe και B. Παρόμοια προβλήματα αλλά σε μικρότερη έκταση παρουσιάζονται στην περιοχή γύρω από τα Λουτρά της Θέρμης.

Τα υπόγεια νερά του βόρειου και του κεντρικού τμήματος της πεδιάδας του Ανθεμούντα χαρακτηρίζονται με βάση το διάγραμμα ποσιμότητας του G.WATERLOT, ως νερά καλής ποιότητας.

Στο κατώτερο τμήμα της πεδιάδα του Ανθεμούντα και ειδικότερα στην περιοχή Δυτικά και Νοτιοδυτικά της Θέρμης, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στις γεωτρήσεις συνεχής αύξηση των ιόντων χλωρίου. Η αγωγιμότητα των υπόγειων υδάτων σε ορισμένες γεωτρήσεις που είναι κατασκευασμένες κοντά στη θάλασσα προσεγγίζει τα 3500 μs/cm ενώ οι τιμές που παρατηρούνται προς το εσωτερικό της λεκάνης μειώνονται μέχρι και τα 350 μs/cm. Οι συνεχώς αυξανόμενες τιμές της αγωγιμότητας και του λόγου Cl/SO4 καθώς επίσης και οι μειούμενες τιμές του λόγου Ca+Mg/Na+K (Λαμπράκης, 1994, Καλλέργης 1986), με την προσέγγιση των ακτών αλλά και με την πάροδο του χρόνου, υποδηλώνουν την ύπαρξη μετώπου διείσδυσης θαλασσινού νερού το οποίο κινείται προς το εσωτερικό της λεκάνης.

Τα νερά των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων της συγκεκριμένης περιοχής χαρακτηρίστηκαν με τη χρήση του διαγράμματος ποσιμότητας του G. WATERLOT, ως νερά κακής ποιότητας. Ενώ από την ταξινόμησή τους με το τριγωνικό διάγραμμα του PIPER (1944) προέκυψε ότι με βάση τα ανιόντα που περιέχουν χαρακτηρίζονται ως Δισανθρακικά ενώ με βάση τα κατιόντα χαρακτηρίζονται ως Ασβεστούχα.

Τα προαναφερόμενα συμπεράσματα για τον υδροχημικό χαρακτήρα των υπόγειων υδάτων της περιοχής της πεδιάδας του Ανθεμούντα προέκυψαν από την αξιοποίηση χημικών αναλύσεων προηγούμενων ετών που είχαν πραγματοποιηθεί από το ΙΓΜΕ (Γ. Τραγανός κ.α., 1985) και (Α. Παπακωνσταντίνου κ.α., 1996) καθώς επίσης και από χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον ποιοτικό έλεγχο του νερού στο εργοστάσιο εμφιάλωσης της Σουρωτής. Οι προαναφερόμενες χημικές αναλύσεις υπερβαίνουν σε αριθμό τις 50.

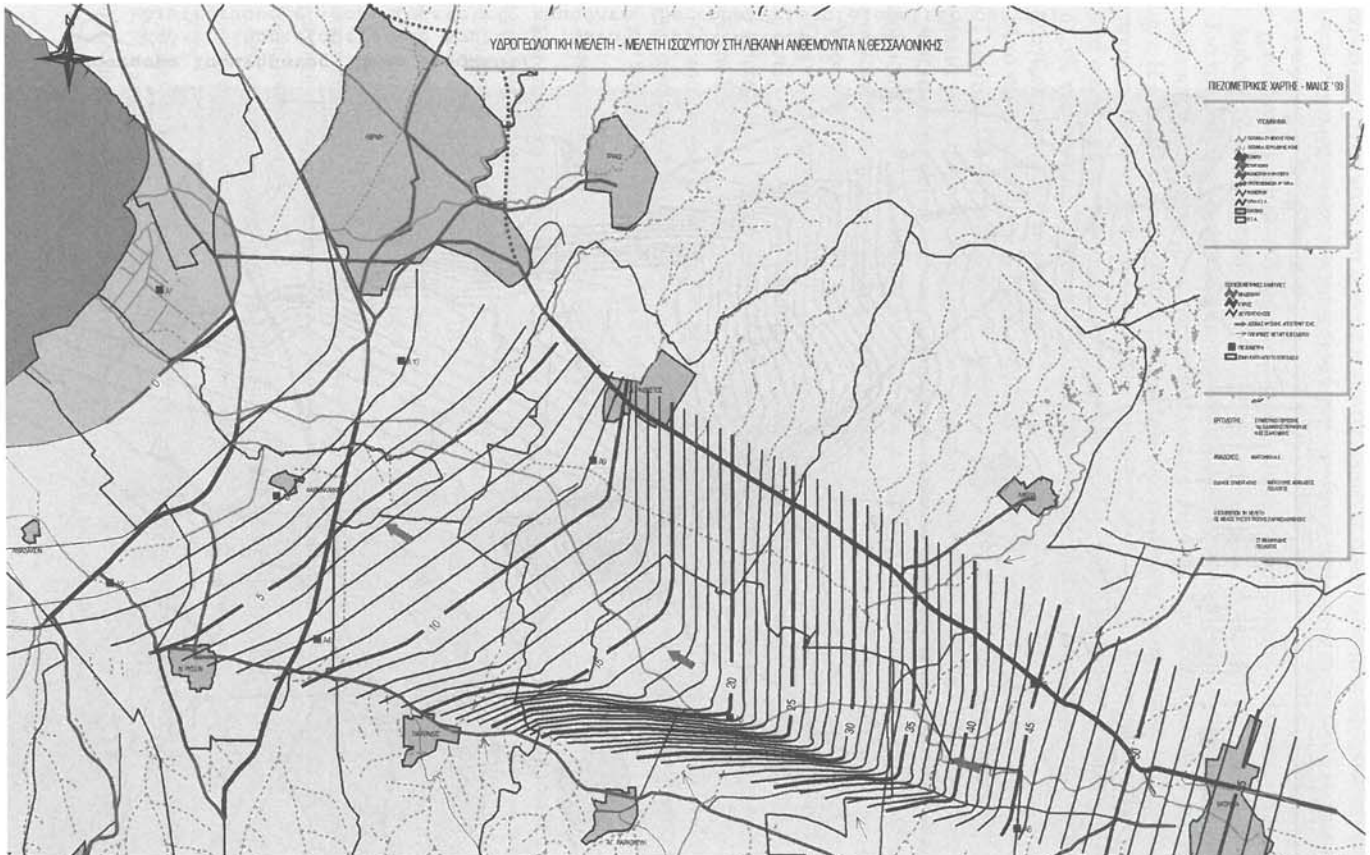
5. ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ

Προκειμένου να διερευνηθεί η μεταβολή της πιεζομετρίας των υδροφόρων οριζόντων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης σε μεγάλο αριθμό ομοιόμορφα κατανεμημένων ανενεργών γεωτρήσεων και πιεζομέτρων. Οι μετρήσεις αυτές ξεκίνησαν από το 1993 και συνεχίστηκαν μέχρι και το 1998.

Από τις μετρήσεις αυτές προέκυψε ως γενικό συμπέρασμα ότι η στάθμη τόσο του φρεάτιου όσο και των ημι-υπο-πίεση υδροφόρων οριζόντων συνεχώς ταπεινώνεται και μάλιστα με αυξανόμενους ρυθμούς. Οι μέγιστες πτώσεις στάθμης που έχουν παρατηρηθεί σε πιεζόμετρα που είναι εγκατεστημένα στους ημι-υπο-πίεση υδροφόρους ορίζοντες είναι 1,74 m στην περιοχή του Αγροκτήματος του Α.Π.Θ. και 10,46 m στην περιοχή των Βασιλικών. Ενώ, οι μέγιστες πτώσεις στάθμης που παρατηρούνται σε πιεζόμετρα που είναι εγκατεστημένα στον φρεάτιο υδροφόρο οριζοντα είναι 0,35 m στα Φαρμακαίικα και 3,94 m στην περιοχή των Βασιλικών.

Από τη σύγκριση των δύο ισοπιεζομετρικών χαρτών (σχήμα 1 και 2)φαίνεται ότι ενώ η πιεζομετρική επιφάνεια των ημι-υπο-πίεση υδροφόρων ταπεινώθηκε κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος Μάιος 1993 - Μάιος 1998, η πιεζομετρική επιφάνεια του αρτεσιανού υδροφόρου που βρίσκεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια να ευνοείται η υπόγεια πλευρική διήθηση των κακής ποιότητας νερών του αρτεσιανού υδροφόρου προς το κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Η δράση του φαινομένου αυτού επιβεβαιώνεται από την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των γεωτρήσεων του "Συνδέσμου Ύδρευσης 10 Κοινοτήτων Ανθεμούντα" που βρίσκονται εντός του αγροκτήματος της Αγίας Παρασκευής.

Στους προαναφερόμενους ισοπιεζομετρικούς χάρτες η περιοχή στην οποία η πιεζομετρική επιφάνεια είναι κάτω από το επίπεδο της θάλασσας έχει σχεδιαστεί με σκουρότερη απόχρωση του γκρι. Από τη σύγκριση των περιοχών αυτών φαίνεται ότι ενώ το Μάιο του 1993 η ισοπιεζομετρική καμπύλη με υψόμετρο 0 m διέρχεται σχεδόν σε όλο της το μήκος κάτω από τον παραλιακό δρόμο Θεσσαλονίκης – Μηχανιώνας, το Μάιο του 1998 η ίδια ισοπιεζομετρική καμπύλη έχει περάσει πίσω από τον οικισμό των Φαρμακαίικων περιβάλλοντας πολλαπλάσια έκταση. Η προαναφερόμενη οπισθοχώρηση της ισοπιεζομετρικής καμπύλης συνοδεύεται και από την αντίστοιχη προέλαση της διεπιφάνειας γλυκού – αλμυρού νερού. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση των ισοπιεζομετρικών χαρτών ταυτίζονται με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιοποίηση των χημικών αναλύσεων και κατά συνέπεια επιβεβαιώνουν τη διείσδυση της θάλασσας στο εσωτερικό της λεκάνης του Ανθεμούντα.



Απόσπασμα Υπομνήματος (Memo Fragment)

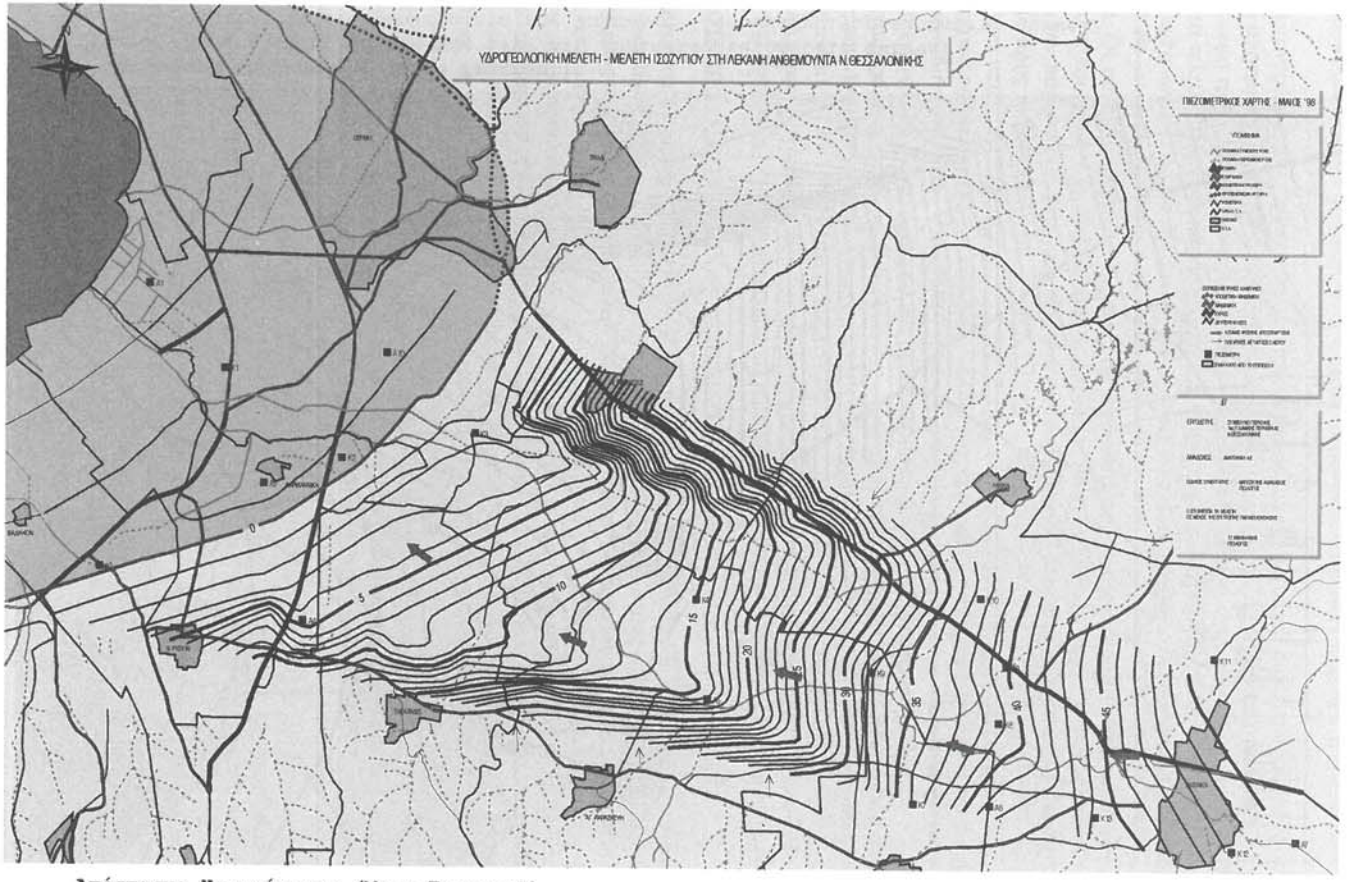
Κύριες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Main isopiezometric curves)

Δευτερεύουσες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Secondary isopiezometric curves)

Περιοχή με αρνητική ισοπιεζομετρική επιφάνεια (Area with negative isopiezometric surface)

Σχήμα 1. Ισοπιεζομετρικές καμπύλες των υδροφόρων οριζόντων μεγάλου βάθους - Μάιος 1993.
Figure 1. Isopiezometric curves of the dip water tables - May 1993.

Σχήμα 2. Ισοπιεζομετρικές καμπύλες των υδροφόρων οριζόντων μεγάλου βάθους - Μάιος 1998.
Figure 2. Isopiezometric curves of the dip water tables - May 1998.



Απόσπασμα Υπομνήματος (Memo Fragment)

Κύριες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Main isopiezometric curves)

Δευτερεύουσες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Secondary isopiezometric curves)

Περιοχή με αρνητική ισοπιεζομετρική επιφάνεια (Area with negative isopiezometric surface)

6. ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Το νερό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων της πεδιάδας του Ανθεμούντα χρησιμοποιείται για την κάλυψη αρδευτικών, υδρευτικών και βιομηχανικών αναγκών. Για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται σε κάθε μια από τις προαναφερόμενες δραστηριότητες πραγματοποιήθηκε απογραφή των γεωτρήσεων καθώς επίσης και καταγραφή των επιμέρους χρήσεων γης σε σχέση με τις απαιτήσεις τους σε νερό. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απογραφής και οι ποσότητες του νερού που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών της κάθε μίας δραστηριότητας.

Αρδευτική Κατανάλωση

Για τον υπολογισμό της αρδευτικής κατανάλωσης απογράφηκαν όλες οι γεωτρήσεις των συλλογικών δικτύων άρδευσης καθώς επίσης και όλες οι ιδιωτικές γεωτρήσεις που άρδευαν εκτάσεις μεγαλύτερες των 20 στρεμμάτων. Η απογραφή του συνόλου των γεωτρήσεων ανεξαρτήτως της έκτασης που αρδεύουν κατέστη αδύνατο να πραγματοποιηθεί εντός των χρονικών ορίων της μελέτης λόγω του υπερβολικά μεγάλου αριθμού τους. Συνολικά απογράφηκαν 149 αρδευτικές γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις αυτές αρδεύουν 16.311 στρέμματα, δηλαδή το 61,3% της συνολικής αρδευόμενης έκτασης η οποία σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Γεωργίας (1994) υπολογίζεται σε 26.595 στρέμματα.

Από την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της απογραφής των γεωτρήσεων και των στοιχείων της Διεύθυνσης Γεωργίας για την κατανομή των καλλιεργειών το 1994, εκτιμήθηκε η κατανομή των καλλιεργειών και κατά συνέπεια και η κατανάλωση αρδευτικού νερού η οποία για το έτος 1998 ανέρχεται σε 18.668.000 m^3/έτος.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στις εκτάσεις που αρδεύονται με την χρήση ιδιωτικών γεωτρήσεων παρατηρείται υπέρβαση της κατανάλωσης σε ποσοστό περίπου 15%. Το στοιχείο αυτό συνεκτιμήθηκε για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης σε αρδευτικό νερό.

Υδρευτική Κατανάλωση

Οι εν λειτουργία υδρευτικές γεωτρήσεις που υπάρχουν στην πεδιάδα του Ανθεμούντα είναι 22. Οι γεωτρήσεις αυτές υδρεύουν τους οικισμούς που υπάρχουν στο χώρο της λεκάνης καθώς επίσης και τους οικισμούς που εξυπηρετεί ο "Σύνδεσμος Ύδρευσης 10 Κοινοτήτων Ανθεμούντα". Επίσης στην περιοχή μελέτης υπάρχουν και δύο από τις υδρευτικές γεωτρήσεις του Δήμου Πυλαίας.

Οι προαναφερόμενες υδρευτικές γεωτρήσεις καλύπτουν τις ανάγκες σε νερό 35.000 κατοίκων. Θεωρώντας ότι η κατανάλωση νερού ανά άτομο είναι περίπου 230 lt/ημέρα προκύπτει ότι η ετήσια κατανάλωση σε νερό για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης είναι 3.078.000 m^3/έτος.

Βιομηχανικη – Βιοτεχνικη Καταναλωση

Στην περιοχή της πεδιάδας του Ανθεμούντα εδρεύουν συνολικά 426 βιομηχανικές – βιοτεχνικές μονάδες. Οι μονάδες αυτές στην πλειοψηφία τους δεν είναι υδροβόρες, δηλαδή, είτε χρησιμοποιούν πολύ μικρές ποσότητες νερού για την κάλυψη των αναγκών της παραγωγής είτε χρησιμοποιούν το νερό μόνο για την κάλυψη των αναγκών στους χώρους υγιεινής. Εξαίρεση αποτελούν τρεις μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (ένα βαφείο και 2 εμφιαλωτήρια) που καταναλώνουν συνολικά το 62% της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται στις δραστηριότητες του δευτερογενή τομέα.

Εκτιμώντας τις ποσότητες του νερού που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών σε κάθε βιομηχανική – βιοτεχνική μονάδα και λαμβάνοντας υπόψη και τον συνολικό αριθμό των εργαζομένων που απασχολούν, υπολογίστηκε ότι στην πεδιάδα του Ανθεμούντα καταναλώνονται 1.864.000 m^3/έτος για τις απαιτήσεις του δευτερογενή τομέα παραγωγής.

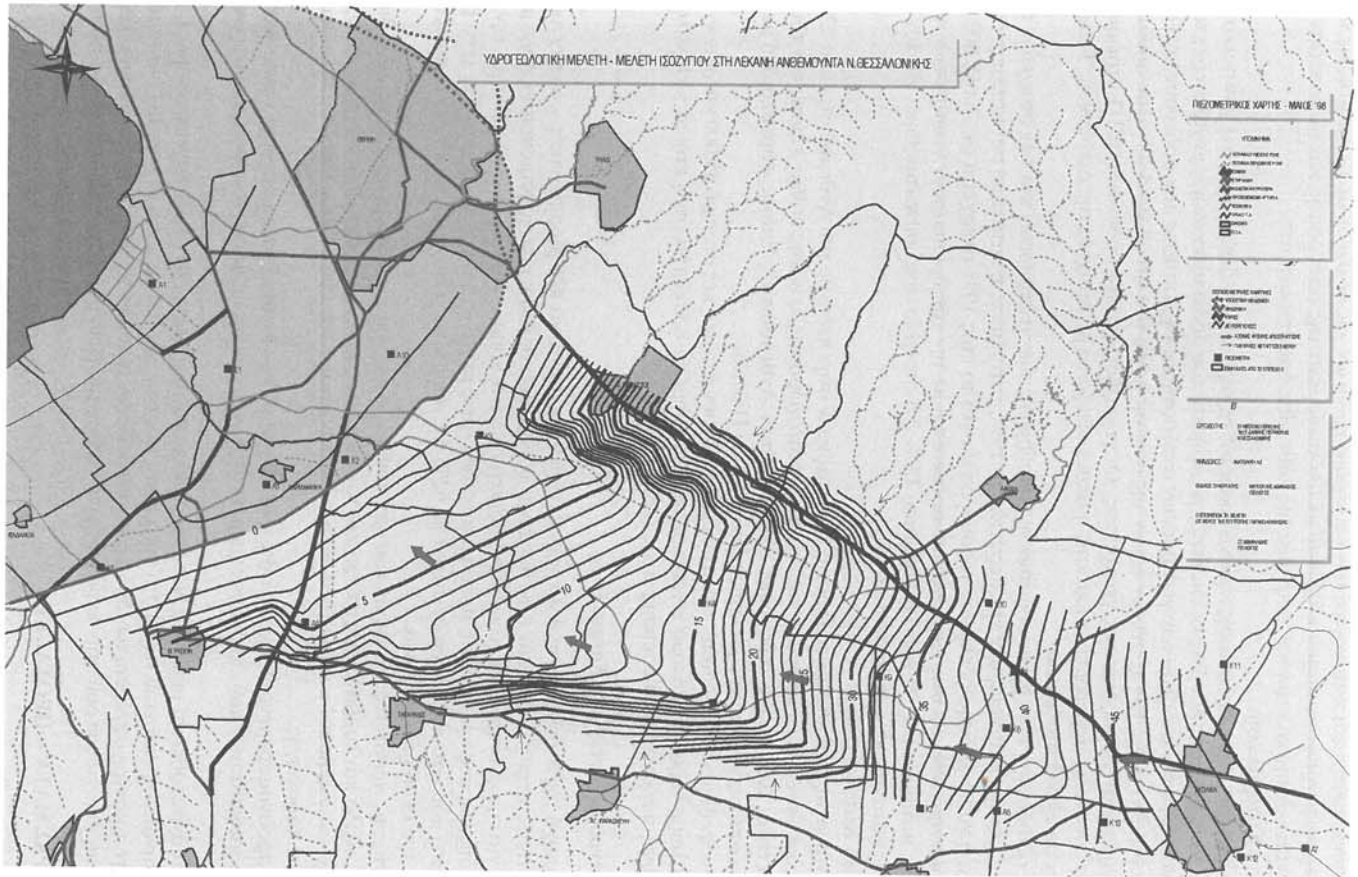
Από τα προαναφερόμενα προκύπτει ότι η συνολική ετήσια κατανάλωση υπόγειου νερού για την κάλυψη όλων των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα εντός των ορίων της πεδιάδας του Ανθεμούντα είναι 23.610.000 m^3/έτος.

Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Ι. Παπαγεωργάκη & Ι. Κουμαντάκη (1978) η κατανάλωση υπόγειου νερού στο σύνολο της λεκάνης του Ανθεμούντα το έτος 1977 ήταν 16.800.000 m^3/έτος. Από την πρόχειρη σύγκριση των δύο προαναφερόμενων αριθμών προκύπτει ότι τα είκοσι τελευταία χρόνια η κατανάλωση υπόγειου νερού στην περιοχή της πεδιάδας του Ανθεμούντα το ελάχιστο διπλασιάστηκε.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας όλα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πεδιάδα του Ανθεμούντα, ως περιαστική ζώνη της πόλης της Θεσσαλονίκης, παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς ανάπτυξης οι οποίοι με τη σειρά τους συνεπάγονται την αύξηση στην κατανάλωση του υπόγειου νερού. Η κατανάλωση του υπόγειου νερού, που έτος 1998 έφτασε τα 23.610.000 m^3, έχει σαν αποτέλεσμα την

Σχήμα 3. Χάρτης προτεινόμενων περιοριστικών ζωνών προστασίας.
Figure 3. Map of proposed protection zones.



Απόσπασμα Υπομνήματος (Memo Fragment)

Κύριες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Main isopiezometric curves)

Δευτερεύουσες ισοπιεζομετρικές καμπύλες (Secondary isopiezometric curves)

Περιοχή με αρνητική ισοπιεζομετρική επιφάνεια (Area with negative isopiezometric surface)

ταπείνωση της στάθμης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων σε όλη την έκταση της λεκάνης. Η ταπείνωση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων οδηγεί στην υποβίβαση της ποιότητας των υπόγειων νερών. Η διείσδυση της θάλασσας και η μετάγγιση υπόγειων νερών κατώτερης ποιότητας στους κύριους υδροφόρους της περιοχής καθιστά προβλέψιμη αλλά και ανησυχητική την εξέλιξη της κατάστασης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων στο μέλλον. Η υποβίβαση της ποιότητας των υπόγειων νερών και η μείωση των διαθέσιμων ποσοτήτων είναι σίγουρο ότι θα αντιστρέψει την εξελικτική πορεία του συνόλου της περιοχής.

Για την αποφυγή των προαναφερόμενων δυσάρεστων εξελίξεων προτείνονται τα ακόλουθα μέτρα: 1) Ενημέρωση των Πολιτών για την υφιστάμενη κατάσταση και για τους τρόπους αντιμετώπισής της, 2) Ενοποίηση και επέκταση των αρδευτικών δικτύων, 3) Αναδιάρθρωση των καλλιεργειών και εφαρμογή σύγχρονων τρόπων άρδευσης, 4) Πλήρης και συνεχής καταγραφή του συνόλου των σημείων υδροληψίας και των χρήσεων γης σε σχέση με την κατανάλωση νερού, 5) Κατασκευή έργων τεχνητού εμπλουτισμού, 6) Χρησιμοποίηση ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού για την κάλυψη αναγκών, 7) Υδρογεωλογική μελέτη στο σύνολο της λεκάνης του Ανθεμούντα έτσι ώστε να υπολογιστεί το υδρολογικό ισοζύγιο και 8) Ορισμός και εφαρμογή περιοριστικών ζωνών προστασίας.

Προτείνεται να οριστούν οι ζώνες προστασίας που παρουσιάζονται στο σχήμα 3. Οι ζώνες αυτές είναι οι εξής:

Ζώνη Απόλυτης Προστασίας (Ζώνη Α)

Στην ζώνη αυτή υπάρχει άμεσος κίνδυνος από τη διείσδυση του θαλασσινού νερού. Προτείνεται η απαγόρευση κατασκευής κάθε νέας γεώτρησης.

Ζώνες Υψηλής Προστασίας (Ζώνη Β1 και Ζώνη Β2)

Η ζώνη Β1 αποτελεί το μοναδικό φυσικό φράγμα αντίστασης στη διείσδυση του θαλασσινού νερού, ενώ η ζώνη Β2, που εκτείνεται 400 m εκατέρωθεν του Ανθεμούντα ποταμού, αποτελεί τη σημαντικότερη ζώνη τροφοδοσίας των υδροφόρων με επιφανειακό νερό. Στις ζώνες αυτές ήδη υπάρχουν πολλές βαθιές και υδροβόρες γεωτρήσεις που τείνουν να ανατρέψουν το προαναφερόμενο καθεστώς. Στη Ζώνη αυτή επιτρέπεται η διάνοιξη απόλυτα ελεγχόμενων έργων υδροληψίας μέτριων δυνατοτήτων που θα καλύπτουν επιτακτικές ανάγκες.

Ζώνη Προστασίας Γ

Η ζώνη Γ περιβάλλει τις εγκαταστάσεις των Λουτρών της Θέρμης με ακτίνα 1000 m. Στη ζώνη αυτή απαγορεύεται κάθε νέα ανόρυξη παραγωγικής γεωτρήσεως.

Ζώνη Προστασίας Δ

Η ζώνη προστασίας Δ περιβάλλει τον αρτεσιανό υδροφόρο που εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της πεδιάδας του Ανθεμούντα και ο οποίος δε διαθέτει ποιοτικώς αξιοποιήσιμα αποθέματα νερού.

Στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης επιτρέπεται η ελεγχόμενη κατασκευή έργων υδροληψίας μέτριων έως και μεγάλων δυνατοτήτων.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή όλων των προαναφερόμενων μέτρων κρίνεται σκόπιμη η σύσταση φορέα διαχείρισης. Ο φορέας αυτός θα επιτρέψει την καλύτερη οργάνωση και τον ορθότερο προγραμματισμό των ενεργειών που αφορούν τα περιβαλλοντολογικά θέματα της λεκάνης του Ανθεμούντα, συμπεριλαμβανομένου και των θεμάτων που αφορούν τα υπόγεια ύδατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., 1986, Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία (τόμος Α'), Εκδόσεις ΤΕΕ, κεφ. 7, σελ. 7-1 έως 7-88, Αθήνα.

ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Ξ.,1993, Κατακόρυφες μεταγγίσεις υπόγειων νερών ελεύθερων υδροφόρων οριζόντων σε υποκείμενους. Περιπτώσεις Δυτ. Αχαΐας και Βασιλικών Θεσσαλονίκης, πρακτ. 2ου Υδρ/κου Συνεδρίου, Τόμος Β, σελ 461-466.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., 1994, Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Α., ΧΑΤΖΗΚΥΡΚΟΥ, Α., ΚΑΛΟΥΣΗ Ε., 1996, Μελέτη ποιοτικής κατάστασης επιφανειακών και υπόγειων νερών Ν. Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Παράρτημα Θεσσαλονίκης.

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ, Ι., ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., 1978, Υδρογεωλογική μελέτη Χαλκιδικής και λεκανών Ανθεμούντα και Επανομής Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις Υπ. Γεωργίας, Αθήνα.

PIPER, A., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, Transam, Geophysical Union, 25/914-928, New York.

ΤΡΑΓΑΝΟΣ, Γ., ΘΑΝΑΣΣΟΥΛΑΣ, Κ., 1985, Αναζήτηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας για ενδεχόμενη οικιακή και βιομηχανική θέρμανση στα νότια και νοτιοανατολικά προάστια της Θεσσαλονίκης, Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1869-1874, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1869-1874, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ*

Π.Θ. ΝΑΣΤΟΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αποτελεσματικότητα της βροχής (P/E), όπως αυτή ορίζεται από τον Thornthwaite, στην Ελλάδα. Η αποτελεσματικότητα της βροχής, εκτός από τα υδάτινα κατακρημνίσματα, εξαρτάται και από την εξάτμιση, η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, της ατμοσφαιρικής πίεσης, του ανέμου, κ.λ.π.

Το κλιματικό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε αφορά μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης της περιόδου 1963-1992, για ένα δίκτυο 38 μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Αφού υπολογίστηκε η παράμετρος (P/E), για κάθε ένα σταθμό, στη συνέχεια σχεδιάστηκε με την βοήθεια της μεθόδου Kriging η χωρική κατανομή της στην Ελλάδα και γίνεται σύγκριση με προγενέστερη κατανομή.

ABSTRACT

The annual precipitation and its distribution in time does not determine, by itself, the arid or wet character of a climate. It has to be examined whether or not the amount of precipitation response to the needs of water of an area because of the evapotranspiration.

In the present study, the effectiveness of precipitation (P/E), as it has been defined by Thornthwaite, is examined in Greece. Thornthwaite classified the climates of North America and in the process all over the world according to the effectiveness of precipitation, defined as P/E = ε115(P/T-10)10/9, where P is the monthly precipitation in inches, and T is the monthly temperature in °F. Therefore, five types of climates have been determined, based on the mentioned formula: wet (^{3} 128), humid (64-127), subhumid (32-63), semiarid(16-31) and arid (< 16).

The climatic data, which were used for the evaluation of P/E, were mean monthly temperature and mean monthly precipitation of the period 1963-1992 for 38 meteorological stations of the National Meteorological Service. Applying Kriging method, the spatial distribution of P/E in Greece is plotted. Generally speaking the major area of Greece is of subhumid climate. Exception to that rule is the Western Greece including the islands of Ionian Sea and the central mountain areas of Peloponnesus, which appear to be of humid climate. The Cyclades islands, the North-East Peloponnesus, the Attica, the South Evia island, the Skyros island and the North-East Thessalia with the East coasts of Halkidiki have semiarid climatic character.

This classification in comparison with a previous one, carried out by Karapiperis in 1962, indicates that the boundaries between humid and subhumid regime have been moved westernly and the semiarid type of climate is appeared in a greater area of the central Aegean sea, getting to the North coasts of Crete.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αποτελεσματικότητα βροχής, εξατμισοδιαπνοή, μέθοδος Kriging
KEY WORDS: effectiveness of precipitation, evapotranspiration, Kriging method

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ετήσιο ύψος βροχής και η κατανομή του στο χρόνο δεν καθορίζει από μόνο του τον ξηρό ή υγρό χαρακτήρα ενός κλίματος. Πρέπει να διερευνηθεί εάν και κατά πόσο οι βροχοπτώσεις υπερτερούν ή υστερούν των αναγκών σε νερό μιας περιοχής εξαιτίας της εξάτμισης και της διαπνοής. Το άθροισμα των δύο αυτών φυσικών διαδικασιών είναι γνωστό ως εξατμισοδιαπνοή και εφόσον υπερτερεί των βροχοπτώσεων, το κλίμα μιας περιοχής χαρακτηρίζεται ως ξηρό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως υγρό. Στην περίπτωση ισορροπίας των βροχοπτώσεων με την εξατμισοδιαπνοή ο χαρακτήρας του κλίματος θεωρείται ημίυγρος (Thornthwaite et al, 1951).

* SPATIAL DISTRIBUTION OF THE EFFECTIVENESS OF RAIN IN GREECE

1. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 157 84 Αθήνα.

Επομένως οι διάφοροι ερευνητές αναζήτησαν αναλυτικές σχέσεις με μεταβλητές την βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοή, για να καθορίσουν τον υγρομετρικό χαρακτήρα του κλίματος μιας περιοχής.

Πρώτος ο Linsser (1869)εισήγαγε τον όρο P/E, όπου P το ύψος της βροχής και E η εξάτμιση. Επειδή όμως μετρήσεις εξάτμισης πραγματοποιούνται σε λίγους σταθμούς, ο υπολογισμός του λόγου P/E ήταν δυσχερής. Με δεδομένο ότι η εξάτμιση είναι συνάρτηση κυρίως της θερμοκρασίας, πολλοί ερευνητές αντικατέστησαν την εξάτμιση με την θερμοκρασία του αέρα(T). Έτσι ο δείκτης του Linsser αντικαταστάθηκε από τον δείκτη P/T,όπου P το ετήσιο ύψος βροχής (cm) και T η μέση ετήσια θερμοκρασία (°C). Παραλλαγές του δείκτη P/T είναι ο δείκτης που όρισε ο De Martonne (1926): I=P/(T+10) καθώς και ο δείκτης του Koppen (1884): I=P/αT + C, όπου α και C είναι σταθερές.

Ο Thornthwaite (1931, 1933), στην ταξινόμηση των κλιμάτων της Βορείου Αμερικής και μετά ολοκλήρου της Γης όρισε την αποτελεσματικότητα της βροχής με βάση τον ακόλουθο τύπο: P/E = ε115(P/T-10)10/9, όπου P η βροχόπτωση του κάθε μήνα σε αγγλικούς δακτύλους και T η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Fahrenheit.

Με βάση την παραπάνω σχέση ο Thornthwaite διακρίνει πέντε τύπους κλιμάτων:

Α.	Λίαν Υγρό (Wet)	≥ 128
Β.	Υγρό (Humid)	64 - 127
Γ.	Ημίυγρο (Subhumid)	32 - 63
Δ.	Ημίξηρο (Semiarid)	16 - 31
Ε.	Ξηρό (Arid)	< 16

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

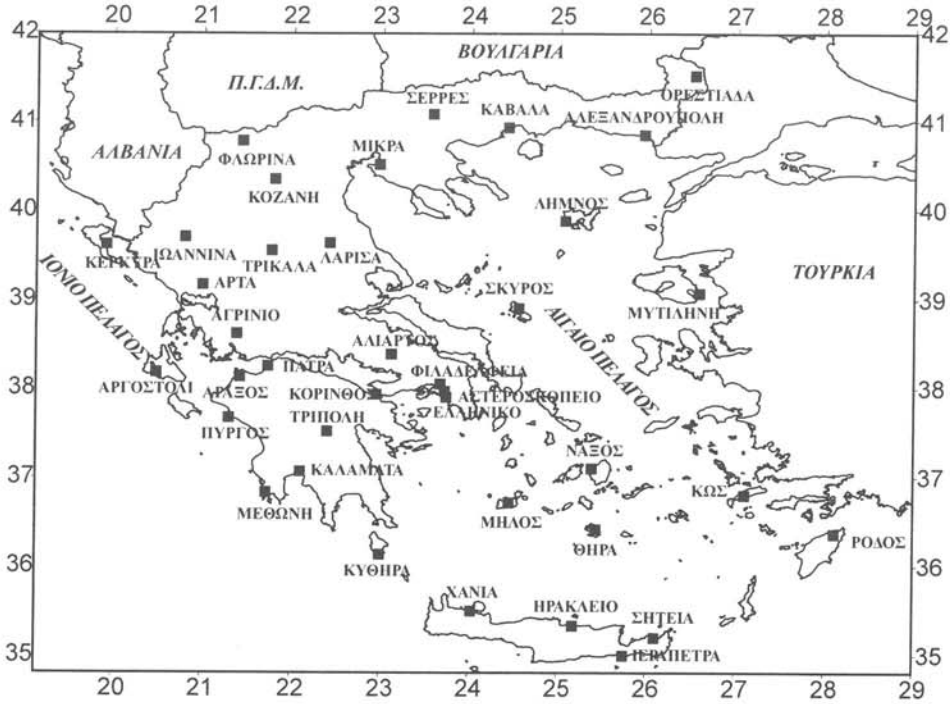
Στη μελέτη αυτή επιχειρείται μία κλιματική διαίρεση της Ελλάδος με βάση την αποτελεσματικότητα της βροχής, όπως αυτή ορίστηκε από τον Thornthwaite. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά στοιχεία βροχής και θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της περιόδου 1963-1992 (τριακονταετία) για ένα δίκτυο 38 μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Εικόνα 1).

Στον Πίνακα Ι, που ακολουθεί, αναγράφονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες για κάθε ένα από του 38 σταθμούς, η αποτελεσματικότητα της βροχής όπως αυτή υπολογίστηκε για την περίοδο 1963-1992,η αποτελεσματικότητα της βροχής υπολογισμένη από τον Καραπιπέρη (1962) για ορισμένους σταθμούς και για προγενέστερη περίοδο (1930-1960), η απόκλιση των τιμών της αποτελεσματικότητας της βροχής μεταξύ των δύο περιόδων (με σκοπό να διερευνηθεί η πιθανή τροποποίηση του υγρομετρικού χαρακτήρα της Ελλάδος με το πέρασμα του χρόνου), καθώς επίσης η μέση ετήσια βροχόπτωση και θερμοκρασία.

Με βάση τις υπολογισθείσες τιμές της παραμέτρου (P/E) σχεδιάστηκε με την βοήθεια της μεθόδου Kriging (Olea, 1974) η χωρική κατανομή της στον Ελλαδικό χώρο (Εικόνα 2). Είναι φανερό ότι στην Ελλάδα δεν εμφανίζεται ξηρό κλίμα, με βάση τον δείκτη της αποτελεσματικότητας της βροχής, γεγονός που βρίσκεται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του Καραπιπέρη (1962). Το σύνολο των νήσων των Κυκλάδων, η ΒΑ Πελοπόννησος, κυρίως η Τροιζηνία, η Αττική, η νότια Εύβοια, η Σκύρος και μία κλειστή περιοχή που περιλαμβάνει την ΒΑ Θεσσαλία και

τις ανατολικές ακτές της Χαλκιδικής εμφανίζουν ημίξηρο κλιματικό χαρακτήρα. Συγκρίνοντας την κλιματική αυτή αποτίμηση με την αντίστοιχη του Καραπιπέρη παρατηρούμε μία μικρή διολίσθηση από τον ημίυγρο κλιματικό χαρακτήρα στον ημίξηρο, δεδομένου ότι στην εργασία του ο Καραπιπέρης (1962) αποδίδει τον χαρακτηρισμό ημίξηρο μόνο στις κεντρικές και νότιες Κυκλάδες, στην Τροιζηνία και στο νότιο τμήμα της Αττικής.

Η Δυτική Ελλάδα μαζί με τα νησιά του Ιονίου Πελάγους, με εξαίρεση τα δυτικά παράλια της Πελοποννήσου, και η κεντρική ορεινή Πελοπόννησος ανήκει στον υγρό κλιματικό τύπο. Λίαν υγρό κλίμα πιθανόν να συναντάται στους κεντρικούς ορεινούς όγκους της Πίνδου και της Πελοποννήσου, πλην όμως αυτό δεν κατέστη δυνατόν να ανιχνευτεί, δεδομένου ότι οι σταθμοί του χρησιμοποιηθέντος δικτύου ήσαν ως επί το πλείστον πεδινοί και μέσου υψομέτρου. Ο αποκλεισμός μετεωρολογικών σταθμών υψηλού υψομέτρου έγινε διότι δεν είχαν καταγράψει παρατηρήσεις στην υπό μελέτη τριακονταετία 1963-1992. Το υπόλοιπο τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται κλιματικά ως ημίυγρο.



Εικ. 1. Δίκτυο Μετεωρολογικών Σταθμών.
Fig. 1. Meteorological Stations' Net.

Αρνητικές αποκλίσεις στις τιμές της αποτελεσματικότητας της βροχής μεταξύ των δύο περιόδων παρατηρούνται στο σύνολο γενικά της Ελλάδος, και είναι τέτοιες ώστε σε αρκετές περιπτώσεις να σημειώνεται και αλλαγή του κλιματικού χαρακτηρισμού των διαφόρων περιοχών. Γενικά η διαχωριστική γραμμή μεταξύ υγρού και ημίυγρου καθεστώτος έχει υποχωρήσει δυτικότερα.

Σ' αυτό συνηγορεί και η παρατηρούμενη μείωση της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό μήκος, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 3. Υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($r = -0.69$) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό σημαίνει ότι το γεωγραφικό μήκος συνεισφέρει στην μεταβλητότητα της αποτελεσματικότητας της βροχής κατά 48%. Στην Εικόνα 3, παρουσιάζεται επίσης η εξίσωση του γραμμικού μοντέλου, που περιγραφεί την προαναφερθείσα ελάττωση.

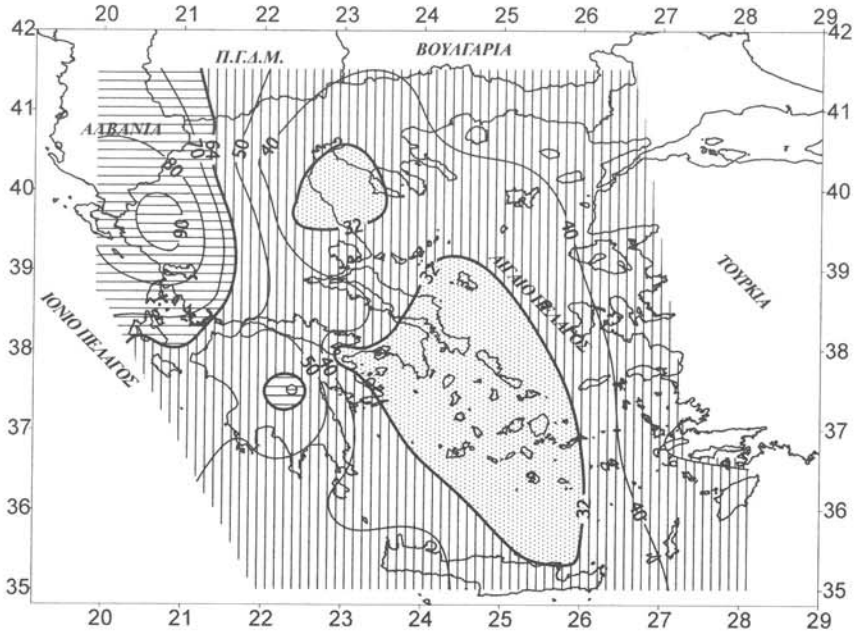
Η εξάρτηση της αποτελεσματικότητας της βροχής από το γεωγραφικό πλάτος είναι μη στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, όπως αυτό φαίνεται στην Εικόνα 4.

Πίνακας Ι.

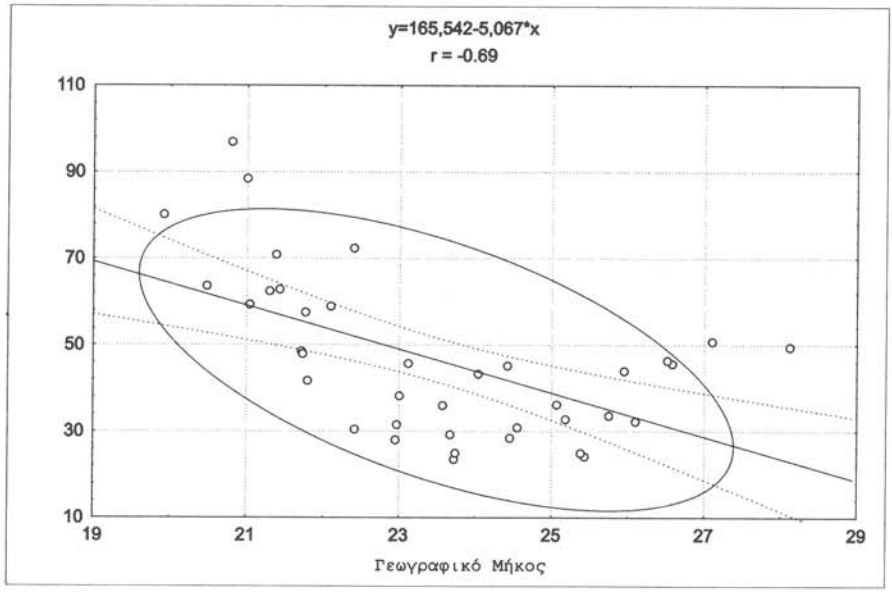
Γεωγραφικά και Θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά των σταθμών του δικτύου

(Geographical and Thermo-hygrometric characteristics of the stations' net)

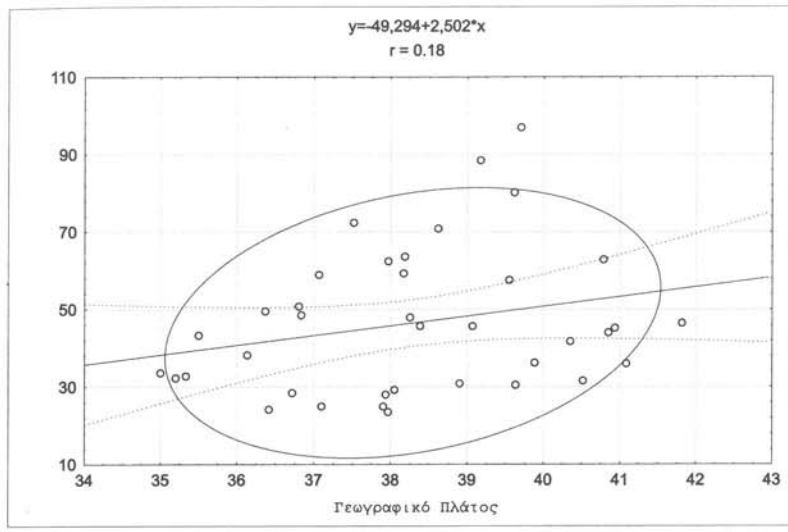
Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ STATION	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ LATITUDE	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ LONGITUDE	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΗΣ (1963-1992) EFFECTIVNESS OF PRECIPITATION	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΡΟΧΗΣ (1930-1960) (ΚΑΤΑ ΚΑΡΑΠΙΕΡΗ) EFFECTIVNESS OF PRECIPITATION	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ EFFECTIVENESS DEVIATION	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΗ (mm) MEAN ANNUAL PRECIPITATION	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C) MEAN ANNUAL TEMPERATURE
1.	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	37.97	23.72	23.51	26.22	-2.71	358.06	18.15
2.	ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	38.05	23.67	29.23			418.44	17.47
3.	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	37.90	23.73	24.96			375.50	18.08
4.	ΑΓΡΙΝΙΟ	38.62	21.38	70.88			919.49	16.68
5.	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40.85	25.95	44.00			539.46	14.06
6.	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.18	20.48	63.61	74.02	-10.41	888.12	17.92
7.	ΑΡΤΑ	39.17	21.00	88.47	84.23	4.24	1119.29	17.02
8.	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.33	25.18	32.77	33.75	-0.98	490.02	18.27
9.	ΜΙΚΡΑ	40.52	22.97	31.54	32.29	-0.75	445.29	14.90
10.	ΘΗΡΑ	36.42	25.43	24.16	25.80	-1.64	345.79	17.62
11.	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35.00	25.75	33.63			496.65	19.08
12.	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.70	20.80	96.96	103.89	-6.93	1057.65	13.47
13.	ΚΑΒΑΛΑ	40.93	24.42	45.15	33.19	11.96	546.52	13.35
14.	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.07	22.10	58.91	58.56	0.35	778.94	16.70
15.	ΚΕΡΚΥΡΑ	39.62	19.92	80.13	83.89	-3.76	1047.80	16.70
16.	ΚΟΖΑΝΗ	40.35	21.80	41.73	51.51	-9.78	517.14	12.22
17.	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	37.93	22.95	28.00			420.22	17.89
18.	ΚΥΘΗΡΑ	36.13	23.00	38.20	44.95	-6.75	529.90	17.62
19.	ΛΑΡΙΣΑ	39.63	22.42	30.47	37.00	-6.53	424.34	14.94
20.	ΛΗΜΝΟΣ	39.88	25.07	36.18	41.11	-4.93	475.76	15.44
21.	ΜΕΘΩΝΗ	36.83	21.72	48.50			681.29	17.57
22.	ΜΗΛΟΣ	36.72	24.45	28.43			407.82	17.54
23.	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.07	26.58	45.66	51.44	-5.78	601.74	17.26
24.	ΝΑΞΟΣ	37.10	25.38	24.97	25.63	-0.66	371.50	17.66
25.	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41.52	26.52	46.39	39.95	6.44	578.18	13.84
26.	ΠΑΤΡΑ	38.25	21.73	47.91	50.75	-2.84	670.27	17.54
27.	ΡΟΔΟΣ	36.37	28.12	49.50			680.65	18.76
28.	ΣΕΡΡΕΣ	41.08	23.57	35.97	41.32	-5.35	482.73	14.59
29.	ΣΗΤΕΙΑ	35.20	26.10	32.32			486.77	18.57
30.	ΣΚΥΡΟΣ	38.90	24.55	30.88	43.46	-12.58	436.76	16.78
31.	ΤΡΙΚΑΛΑ	39.55	21.77	57.52	60.10	-2.58	717.04	15.85
32.	ΤΡΙΠΟΛΗ	37.52	22.40	72.38	78.25	-5.87	801.35	13.30
33.	ΦΛΩΡΙΝΑ	40.78	21.43	62.82	77.89	-15.07	670.28	11.48
34.	ΧΑΝΙΑ	35.50	24.03	43.28	51.70	-8.42	612.46	18.32
35.	ΑΛΙΑΡΤΟΣ	38.38	23.12	45.69			588.24	15.92
36.	ΑΡΑΞΟΣ	38.13	21.42	59.30			657.83	12.13
37.	ΚΩΣ	36.80	27.10	50.81			677.52	17.88
38.	ΠΥΡΓΟΣ	37.67	21.30	62.41	61.11	1.30	830.25	17.08



Εικ. 2. Κλιματική Ταξινόμηση της Ελλάδος με βάση την αποτελεσματικότητα της βροχής κατά Thornthwaite.
Fig. 2. Climatological Classification of Greece according to the effectiveness of precipitation by Thornthwaite.



Εικ. 3. Μεταβολή της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό μήκος.
Fig. 3. Variation of the effectiveness of precipitation to longitude.



Εικ. 4. Μεταβολή της αποτελεσματικότητας της βροχής με το γεωγραφικό πλάτος.
Fig. 4. Variation of the effectiveness of precipitation to latitude.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι Κυκλάδες, η ΒΑ Πελοπόννησος, κυρίως η Τροιζηνία, η Αττική, η νότια Εύβοια, η Σκύρος και μία κλειστή περιοχή που περιλαμβάνει την ΒΑ Θεσσαλία και τις ανατολικές ακτές της Χαλκιδικής εμφανίζουν ημίξηρο κλιματικό χαρακτήρα.
- Η Δυτική Ελλάδα μαζί με τα νησιά του Ιονίου Πελάγους, με εξαίρεση τα δυτικά παράλια της Πελοποννήσου, και η κεντρική ορεινή Πελοπόννησος ανήκει στον υγρό κλιματικό τύπο.
- Το υπόλοιπο τμήμα της χώρας χαρακτηρίζεται κλιματικά ως ημίυγρο.
- Γενικά η διαχωριστική γραμμή μεταξύ υγρού και ημίυγρου καθεστώτος έχει υποχωρήσει δυτικότερα, και έχει μεγαλώσει χωρικά το ημίξηρο καθεστώς του κεντρικού Αιγαίου, φθάνοντας ως την Κρήτη.
- Το γεωγραφικό μήκος επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της βροχής κατά 48%, ενώ το γεωγραφικό πλάτος ουδεμία επίδραση ασκεί σ' αυτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

DE MARTONNE, E. 1926. Une nouvelle fonction climatologique: l' indice d' aridite. La Meteorologie, 449-458.

ΚΑΡΑΠΙΠΕΡΗΣ, Λ. Ν. 1962. Επί μιας κλιματικής διαιρέσεως της Ελλάδος βάσει της αποτελεσματικότητας της βροχής. Δημ. Εργ. Μετ. Παν. Αθηνών 7, 1-8.

KOPPEN, W. 1884. Die Warmenzomen der Erde, nach Dawer der heissen, gemassigten und Kalten Zeit und nach der Wirkung der Warma auf die organische Welt betrachten. Met. Zeit. Berlin I, 215.

LINSSER, C. 1869. Undersuchungen uber die periodishen Lebenserscheinungen der Pflanzen. Mem. Acad. Scien. St. Petersbourg 13 No 8.

OLEA, R. A. 1974. Optimal contour mapping using Universal Kriging. Jour. of Geoph. Res. 79, 695-702.

THORNTHWAITE, C. W. 1931. The climates of North America according to a new classification. Geogr. Rev. 21, 633-655.

THORNTHWAITE, C. W. 1933: The climates of the Earth. Geogr. Rev. 23, 433-440.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. 1951. The Role of Evapotranspiration in Climate. Ar. fur Met. Geoph. und Biok. Ser. B Bb. III, 16-39.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1875-1884, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1875-1884, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ*

Κ. ΝΙΚΑΣ[1], Ι. ΑΓΓΕΛΙΚΑΚΗΣ[1], Α. ΒΕΡΓΟΥ[1] ΚΑΙ Ε. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναφέρονται τα αποτελέσματα Υδρογεωλογικής, και Γεωχημικής έρευνας που διεξήχθη από το Ι.Γ.Μ.Ε. στην περιοχή του Ν. Αχαΐας. Διαπιστώνεται κατ' αρχήν μια φυσική μόλυνση των εδαφών και νερών Fe^{+2} και Mn^{+2} λόγω διασποράς των στοιχείων αυτών από το μητρικό πέτρωμα, δηλαδή από τους ραδιολαρίτες της ζώνης Ωλονού-Πίνδου.

Ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, στην χαμηλή πεδινή και παραθαλάσσια ζώνη οδήγησαν την περιοχή σε κατά τόπους ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Οι παρεμβάσεις αναφέρονται κυρίως σε ανεξέλεγκτη διάθεση χημικών λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων αλλά και σε υπεραντλήσεις ιδίως στην παράκτια ζώνη. Μέσα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας DRASTIC σκιαγραφούνται στην περιοχή ευαίσθητες και τρωτές περιοχές, ως προς τον παράγοντα υποβάθμισης των υπόγειων νερών.

ABSTRACT

The ground water pollution in Achaia prefecture lower plain and coastal areas can be attributed depending on its sources to three different causes. Firstly, there is a naturally induced, geologically mainly controlled pollution through the process of weathering, and dispersion of trace minerals of the core deposits of Radiolarites of the isopic zone of Olonos- Pindos, the main indicators being Fe^{+2}, Mn^{+2}, detected in soils and ground waters. Secondly, there is a man induced pollution mainly through the uncontrolled application of chemical fertilizers, pesticides e.t.c., main indicator being the NO_3^- ions. Thirdly, there is a man induced sea water intrusion in coastal areas through overpumping, the Cl^- ions serving as indicator . Using methodology of DRASTIC, areas sensitive and vulnerable to ground water pollution can further be delineated. The project was carried out by I.G.M.E. within the European Union 2nd framework supporting programs. 600 streambed samples and 1,389 soil samples (taken from 3 soil horizons, 0-30 cm, 30-60 cm and 60-150 cm) were collected during 1996-1997 period as well as 240 ground water samples collected during 1997-1998 high water level season. All the samples were analyzed in the geochemical and hydrochemical labs of IGME.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ν. Αχαΐας, εδάφη, υδροφόρος, μόλυνση υπόγειου νερού, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), τρωτότητα.

KEY WORDS: Achaia Prefecture, soils, aquifer, groundwater pollution, Geographical Information Systems (G.I.S.), vulnerability

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια προγράμματος Β ΚΠΣ διεξήχθη από τον Τομέα Υδρογεωλογίας του ΙΓΜΕ, υδρογεωλογική έρευνα στο Νομό Αχαΐας, η οποία περιελάμβανε εκτός των άλλων εργασιών και ένα υποπρόγραμμα γεωχημικής έρευνας που εκτελέστηκε από την Διεύθυνση Γεωχημείας. Τα αποτελέσματα των εργασιών αυτών παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία και επιχειρείται η σύνδεσή τους με τον περιβαλλοντολογικό παράγοντα, μέσω ενός προγράμματος σκιαγράφησης ευαίσθητων και τρωτών, ως προς την ποιοτική υποβάθμιση, περιοχών.

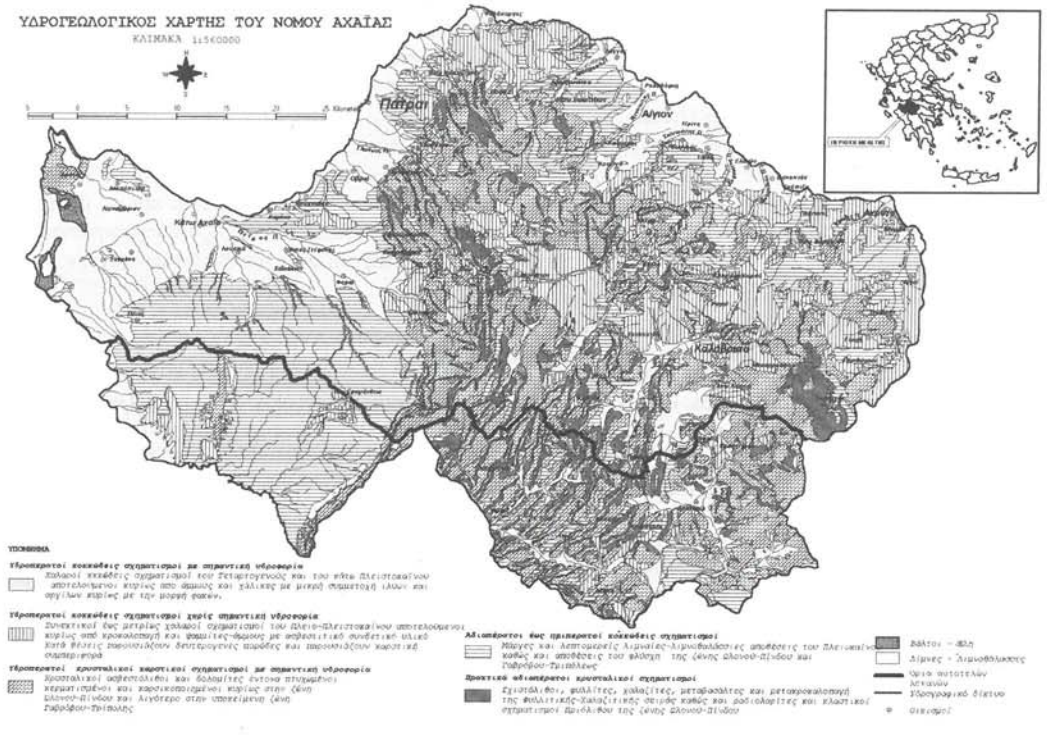
Γεωλογικά, το αλπικό πτυχωμένο υπόβαθρο της περιοχής αποτελούν τρεις ισοπικές, ζώνες , της Ωλονού-Πίνδου στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα, της Γαβρόβου- Τριπόλεως, στο κεντρικό και δυτικό τμήμα και της Ιονίου, σε ένα μικρής έκτασης, βορειοδυτικό τμήμα. Τεκτονικά ,η Ωλονού- Πίνδου είναι επωθημένη στην Γαβρόβου-Τριπόλεως με λεπιοειδή διάταξη και διεύθυνση μετώπου επωθήσεως ΒΔ- ΝΑ, η δε Γαβρόβου –Τριπόλεως είναι επίσης επωθημένη επί της Ιονίου. Τη σειρά κλείνει το πλειο-τεταρτογενές επικάλυμμα που εμφανίζεται κυρίως στα βόρεια και βορειοδυτικά πεδινά (Tsoflias, 1969).

* HYDROGEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL SURVEY IN ACHAIA PREFECTURE AREA

1. Ι.Γ.Μ.Ε., Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι αυτοτελείς υδρολογικές λεκάνες (1/3 περίπου της έκτασης περιλαμβάνεται σε μη αυτοτελείς λεκάνες - λεκάνες που διοχετεύουν τα νερά τους σε όμορους νομούς), οι υδρογεωλογικές ενότητες, οι λιθοστρωματογραφικοί σχηματισμοί που τους αποτελούν, η ικανότητα απόδοσης τους και άλλα υδρογεωλογικά στοιχεία φαίνονται στον χάρτη του Σχ. 1. Γενικά τους πλέον αποδοτικούς υδροφόρους αποτελούν οι καρστικοί σχηματισμοί



Σχήμα 1. Υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας
Figure 1. Hydrogeological map of the study area

της ζώνης Ωλονού – Πίνδου , οι κώνοι κορημάτων , τα χαλαρά κροκαλοπαγή του Πλειστοκαίνου καθώς και οι παλαιές και πρόσφατες κοίτες των τοπικών υδρορεμάτων. Οι ορίζοντες ραδιολαριτών που παρεμβάλλονται στην ανθρακική σειρά της ζώνης Ωλονού – Πίνδου είναι αδιαπέρατοι, συνιστούν επίπεδα βάσεως σε υψηλά υψόμετρα, οριοθετούν αυτόνομα υδρογεωλογικα συστήματα και είναι η γενεσιουργός αιτία πολυαρίθμων διάσπαρτων , μικρής παροχής, πηγών. Τέλος το πλειο-τεταρτογενές επικάλυμμα , στο σύνολό του χαρακτηρίζεται από εναλλαγές αργίλων, άμμων, αμμούχων αργίλων, ενώ στο ανώτερο τμήμα συνήθως εμφανίζεται μια αδρομερέστερη σειρά από κροκαλοπαγή. Το όλο σύστημα χαρακτηρίζεται από μικρή έως μέτρια δυναμικότητα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στα πλαίσια της έρευνας εξετάσθηκαν πολλά γεωχημικά στοιχεία- δείκτες, μέσα από 600 δείγματα ιζημάτων υδρορευμάτων, και 1389 εδαφών, τα τελευταία ληφθέντα από 3 εδαφικούς ορίζοντες (0-30, 30-60 & 60-150 cm.).

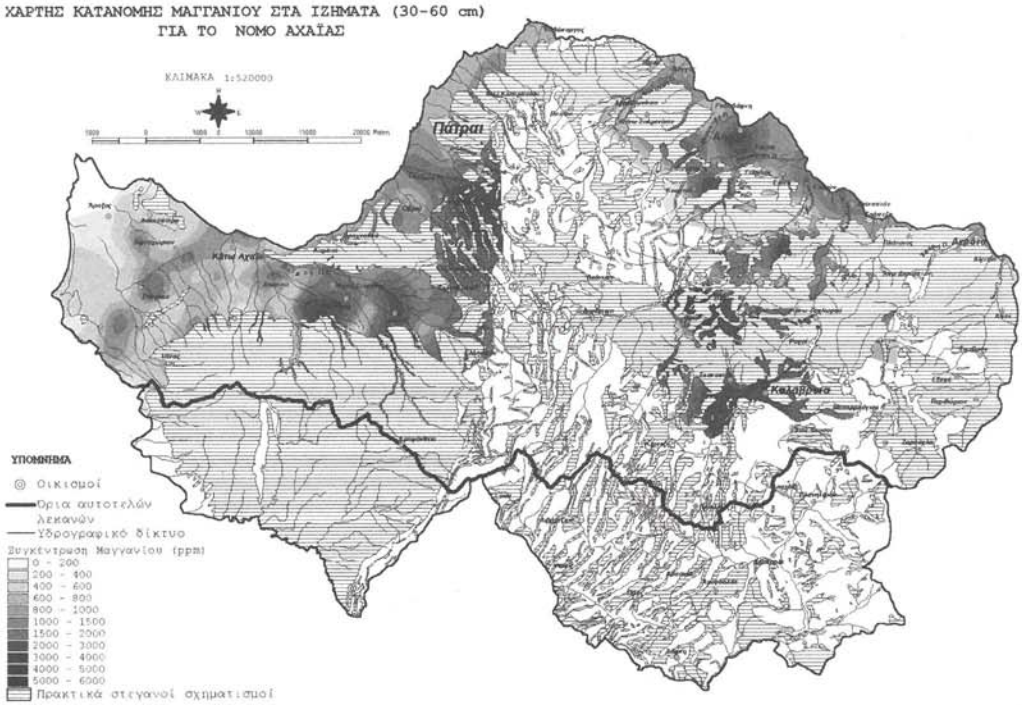
Ο κύριος στόχος της έρευνας αυτής ήταν ο εντοπισμός περιοχών με θετικές γεωχημικές ανωμαλίες ιχνοστοιχείων (κυρίως Mn-Fe) οι οποίες ενδέχεται να έχουν σχέση με μεταλλορύπανση φυσικής προέλευσης (επηρεασμός από ραδιολαρίτες).Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κυριότεροι γεωχημικοί παράγοντες που εξετάσθηκαν και οι κυριότερες στατιστικές τους παράμετροι.

Πίνακας 1. Στατιστικές παράμετροι των χημικών αναλύσεων ιζημάτων και εδαφών.
Table 1. Statistical parameters of sediments and soils chemical analysis.

Στοιχείο (ppm)	Μέση σύσταση Γήινου φλοιού*	Μέση σύσταση Εδαφών*	Ιζήματα υδρορευμάτων Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπ. Απόκλιση	Εδάφη Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπ. Απόκλιση
Fe (%)		1,4-4,0	0,04	7,55	1,25	0,42	6,2	0,998
Mn	950	850	119	4968	566,41	150	5800	692
Co	25	1-40	1	70	6,42	3	59	7,9
Ni	75	5-500	8	316	33,8	6	530	44,1
Cr	100	5-1000	6	1286	54,83	3	223	23,8
Cu	55	2-100	2	905	46,8	11	366	38,1
Zn	70	10-300	3	1657	20,68	16	730	35,2
Pb	12,5	2-200	2	721	10,07	3	450	17,3

*(LEVINSON, 1974)

Στον χάρτη του Σχ. 2 φαίνεται η χωρική κατανομή του μαγγανίου (η κατανομή του σιδήρου ακολουθεί παραπλήσια σχεδόν συμπεριφορά). Από τον χάρτη αυτό φαίνεται μια



Σχήμα 2. Χάρτης κατανομής Mn^{2+} στα ιζήματα της περιοχής έρευνας
Figure 2. Map of Mn^{2+} distribution within sediments for the study area

ευρεία διασπορά του μετάλλου στα εδάφη της Αχαΐας. Η αρχική πηγή συσσωρευμένου σιδήρου-μαγγανίου αποδίδεται στον σχηματισμό των ραδιολαριτών της ζώνης Πίνδου- Ωλονού, ενώ για τον σίδηρο μια δευτερεύουσα πηγή είναι δυνατόν να αποτελούν οι τοπικές συσσωματώσεις αποσαθρωμένων σχηματισμών ασβεστολίθου και υπερβασικών πετρωμάτων της ζώνης Γαβρόβου- Τριπόλεως.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

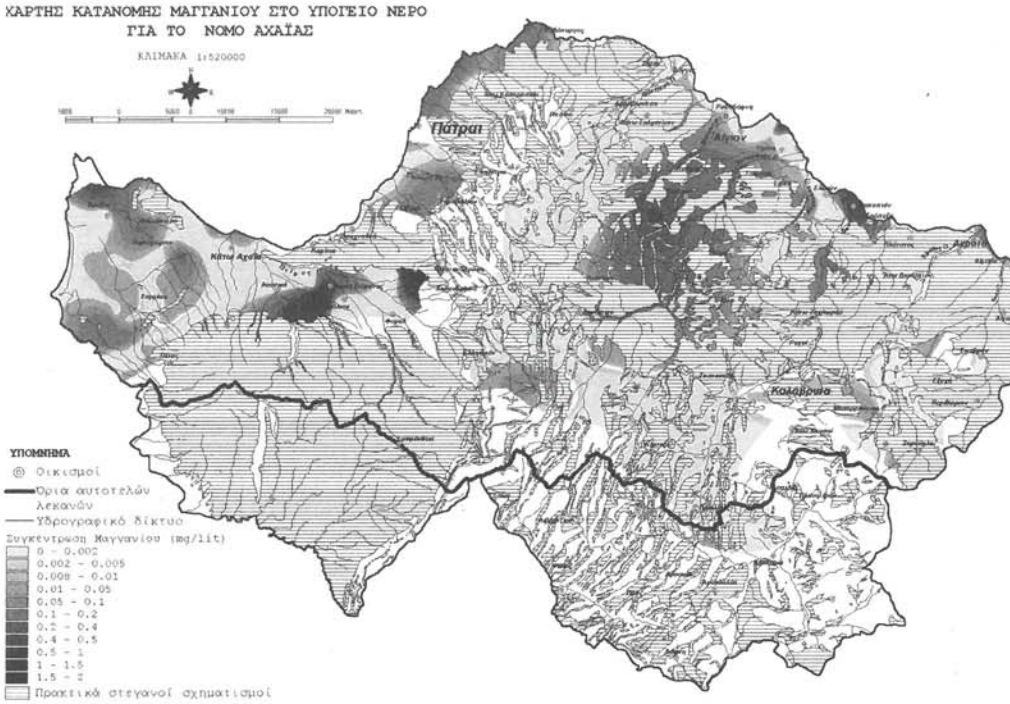
Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας, στην εδώ παρουσίαση, εξετάζονται χωρικά τα αποτελέσματα 240 δειγμάτων υπόγειου νερού της περιόδου υψηλής στάθμης των ετών 1997-1998, αναλυθέντα στο χημείο ΙΓΜΕ.

Στο πίνακα 2 φαίνονται οι κυριότεροι υδροχημικοί παράγοντες που εξετάσθηκαν και το εύρος κύμανσής τους.

Πίνακας 2. Στατιστικές παράμετροι χημικής ανάλυσης υπόγειου νερού.
Table 2.Statistical parameters of the groundwater chemical analysis.

Παράμετρος	Μέσος	Ελάχιστο	Μέγιστο	Εύρος	Τυπ. απόκλιση
E.C (μS/cm)	753,35	181,00	3590,00	3409,00	476,47
Cl^- (mg/lit)	58,90	3,50	471,56	468,06	88,12
NO_3^-(mg/lit)	45,57	1,20	372,10	370,90	65,71
Fe^{2+}(mg/lit)	0,2144	0,0005	8,3100	8,3095	0,8050
Mn^{2+}(mg/lit)	0,07	0,0005	1,85	1,85	0,20

Σε γενικές γραμμές οι πλειονότητα των νερών της υψηλής και μεσαίας ζώνης κατατάσσεται στον υδροχημικό τύπο Ca^{2+}/HCO_3^- (Σχήμα 6) που περιλαμβάνει γενικά νερά με καλή τροφοδοσία και ανανέωση κυρίως κατά μήκος των αξόνων αποστράγγισης. Στην χαμηλή πεδινή και παράκτια ζώνη, ιδίως στην ΒΔ Αχαΐα, εντοπίζονται γενικά περιοχές με ποιοτικά υποβαθμισμένα νερά,(υποβάθμιση η οποία σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά το όριο ποσιμότητας), το δε αίτιο υποβάθμισης είναι δυνατό να αναχθεί περαιτέρω α) σε φυσικά αίτια (π.χ. διασπορά ιχνοστοιχείων σιδήρου , μαγγανίου από τα αρχικά κοιτάσματα ραδιολαριτών), β) αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στον ποιοτικό υδρολογικό κύκλο (κυρίως υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων κ.λ.π.) κυριότερος δείκτης των οποίων είναι τα νιτρικά ιόντα,



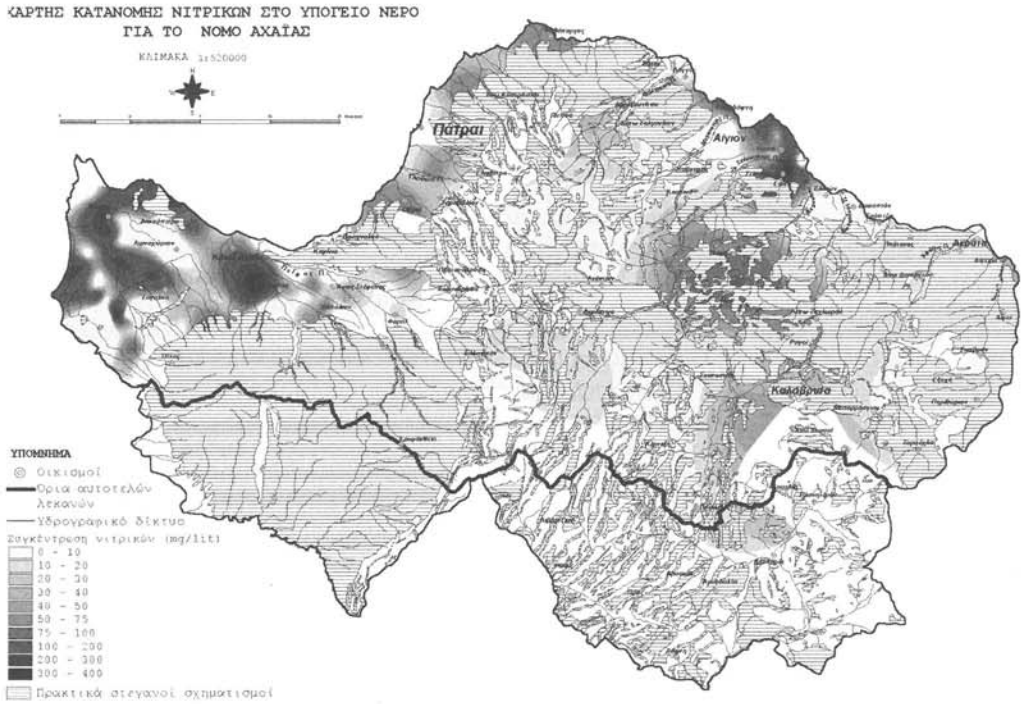
Σχήμα 3. Χάρτης κατανομής Mn^{2+} στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
Figure 3. Map of Mn^{2+} distribution in groundwater for the study area

γ)αίτια ανθρωπογενούς παρέμβασης στον ποσοτικό υδρολογικό κύκλο μέσω υπεραντλήσεων στην παράκτια κυρίως ζώνη- παρέμβαση η οποία καταλήγει τελικά όμως σε ποιοτική ,μέσω της επακόλουθης διείσδυσης θαλασσινού νερού στα υδροφόρα της ενδοχώρας με κυριότερο δείκτη ανίχνευσης στην περίπτωση αυτή τα χλωριόντα.

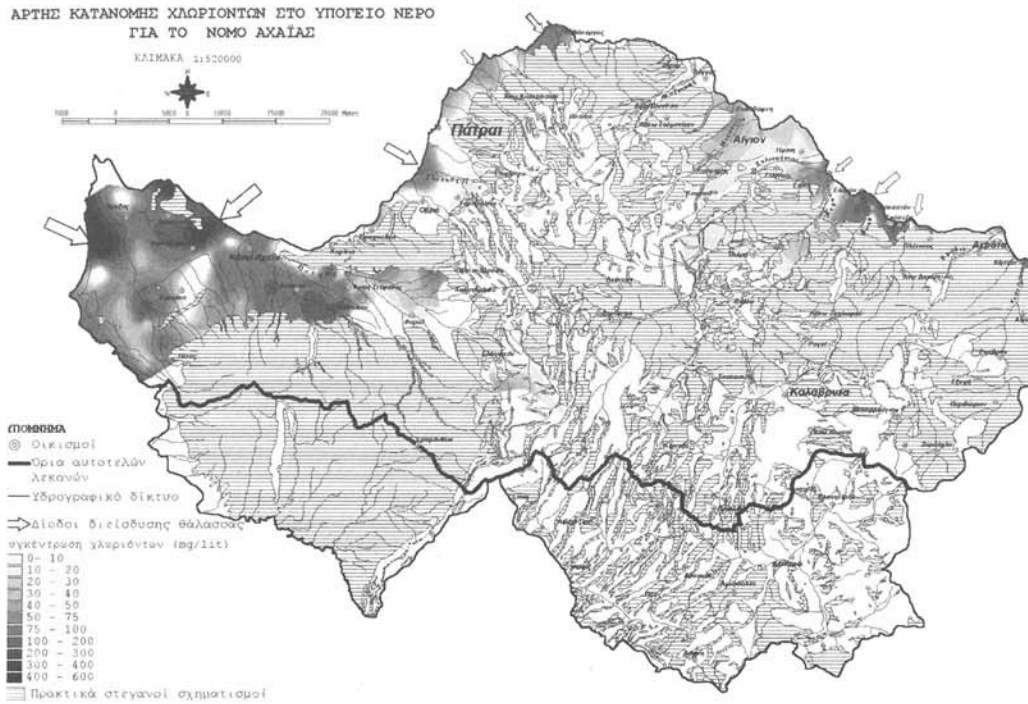
Η χωρική κατανομή μαγγανίου στα υπόγεια νερά φαίνεται στον χάρτη του Σχ.3 (η κατανομή του σιδήρου ακολουθεί παραπλήσια συμπεριφορά). Οι υψηλές συγκεντρώσεις αποδίδονται όπως προαναφέρθηκε σε φυσικά αίτια. Παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά από εκείνη των εδαφών και ιζημάτων, λόγω μεγαλύτερης κινητικότητας των στοιχείων αυτών στο νερό, η δε εκλεκτική συγκέντρωσή τους σε επί μέρους περιοχές (Άραξος, Άγιος Στέφανος, Βασιλικό, Κουνινά, Άνω Διακοπτό κ.α.) οφείλεται μάλλον στις κατά τόπους υδροδυναμικές και οξειδοαναγωγικές συνθήκες.

Η χωρική κατανομή των νιτρικών στα υπόγεια νερά (Σχήμα 4) αποκαλύπτει εκτεταμένη επιβάρυνση στην Β.Δ. Αχαΐα και κυρίως στην έκταση των τέως κοινοτήτων Λουσικών, Κ. Αχαΐας, Λακόπετρας, Αράξου, Λάπα, Σαγέϊκων και στην Β.Α. στην έκταση των τέως κοινοτήτων Ροδοδάφνης , Τέμενης , Ελίκης(η κατανομή των θεϊκών ακολουθεί παραπλήσια συμπεριφορά). Στις περιοχές αυτές υπάρχουν εντατικές καλλιέργειες (οπωροφόρα δένδρα- ελαιώνες, μονοετείς καλλιέργειες), όπου γίνεται έντονη χρήση γεωργικών λιπασμάτων. Την μοναδική διαδικασία μείωσης των νιτρικών στο υπόγειο νερό αποτελεί η αναγωγή τους σε μονοξείδιο του αζώτου και αέριο άζωτο (απονίτρωση), η οποία για να επιτευχθεί απαιτεί περιβάλλον με χαμηλές συγκεντρώσεις διαλελυμένου οξυγόνου. Από το γεγονός αυτό προκύπτει και μια αντίστροφη σχέση των συγκεντρώσεων δισθενούς σιδήρου και νιτρικών. Η αντίστροφη αυτή σχέση παρατηρείται και στην περιοχή έρευνας, όπου περιοχές με υψηλή συγκεντρώσεις δισθενούς σιδήρου δεν ταυτίζονται γενικά με περιοχές υψηλών συγκεντρώσεων νιτρικών και αντιστρόφως.

Η χωρική κατανομή των χλωριόντων στα υπόγεια νερά (Σχήμα 5) μας αποκαλύπτει εκλεκτικές διόδους διείσδυσης της θάλασσας στην παράκτια ζώνη, κυρίως μέσω οδών υψηλής υδραυλικής αγωγιμότητας Δύο τέτοιες δίοδοι έχουν εντοπισθεί και καταγραφεί στην Β.Δ. Αχαΐα (Καλογριά-Μετόχι-Λάππας, Λακόπετρα-Λιμνοχώρι). Διείσδυση της θάλασσας παρατηρείται και στην περιοχή Γλαύκου, όπως έχει διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές (Λαμπράκης κ.α.), ενώ στην Β.Α. Αχαΐα το φαινόμενο παρουσιάζεται σε περιορισμένη κλίμακα (Ζαχλωρίτικα, Τράπεζα), λόγω γεωτεκτονικών κυρίως συνθηκών που οδηγούν τα τοπικά υδροφόρα συστήματα σε υψηλότερα γενικά φορτία και διατηρούν ως εκ τούτου την ισορροπία στην διεπιφάνεια γλυκού/



Σχήμα 4. Χάρτης κατανομής NO_3^- στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
Figure 4. Map of NO_3^- distribution in groundwater for the study area



Σχήμα 5. Χάρτης κατανομής Cl^- στο υπόγειο νερό για την περιοχή έρευνας
Figure 5. Map of Cl^- distribution in groundwater for the study area

αλμυρού νερού π.χ. στις περιοχές Ψαθόπυργου, Ελίκης και Διακοπτού. Η κατανομή των στοιχείων στο διάγραμμα Pipper (Σχήμα 6) συνηγορεί ως προς αυτό.

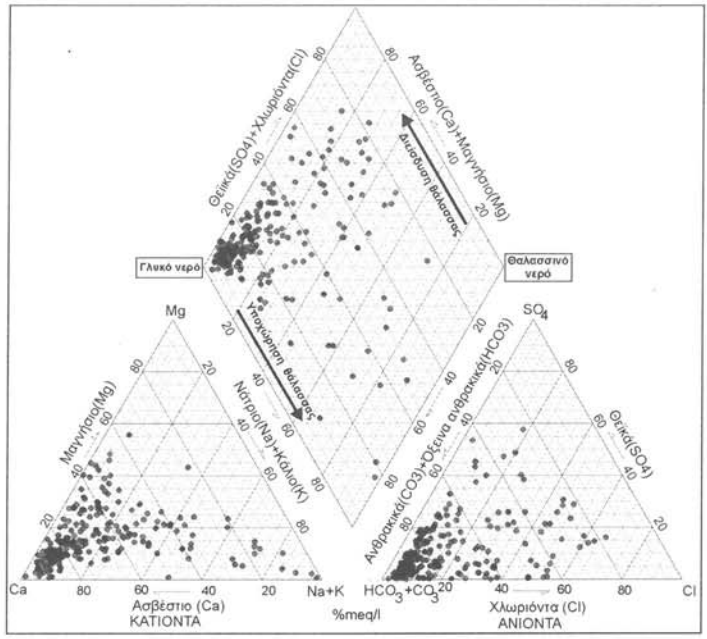
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ

Όπως διαπιστώθηκε από την υδροχημική έρευνα, στην περιοχή εντοπίζεται εκτεταμένη μόλυνση των υπόγειων νερών λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, μόλυνση η οποία εκφράζεται κυρίως από τις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών(Σχήμα 4), προέλευση των οποίων είναι κυρίως τα γεωργικά λιπάσματα και κατά δεύτερο λόγο τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα κ.α. Κατόπιν τούτου κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση της τρωτότητας των υδροφόρων της περιοχής ως προς τις πηγές αυτές. Μια από τις μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό είναι η μεθοδολογία DRASTIC (Aller et al., 1987). Το μοντέλο DRASTIC χρησιμοποιεί επτά υδρογεωλογικές παραμέτρους οι οποίες έχει αποδειχτεί ότι επηρεάζουν την πιθανότητα μόλυνσης ενός υδροφόρου από επιφανειακές πηγές: 1)Βάθος του υδροφόρου ορίζοντα (D), 2)μέση ετήσια τροφοδοσία του υδροφόρου (R), 3)τύπος του υδροφόρου ορίζοντα (A), 4)τύπος του εδαφικού ορίζοντα (S), 5) κλίση του αναγλύφου (T), 6)τύπος πετρώματος της ακόρεστης ζώνης (I), 7) υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου (C).

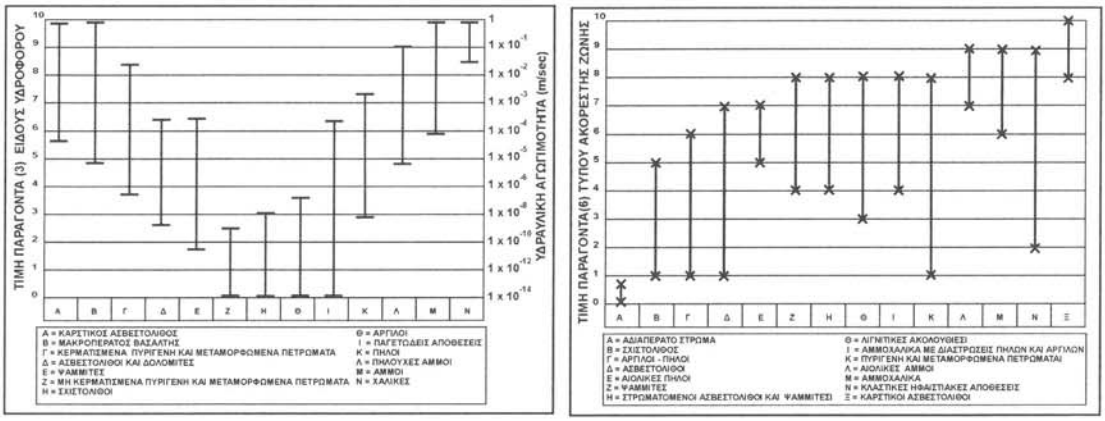
Στην παρούσα εργασία οι παράγοντες (3) και (7) εκφράζονται με ένα κοινό παράγοντα δυναμικότητας του υδροφόρου, όπως αυτός προσδιορίστηκε από το διάγραμμα του σχήματος 7, αλλά και από την κατανομή της δυναμικότητας των υδροφόρων όπως φαίνεται στο χάρτη του σχήματος 1. Η σχετική σπουδαιότητα γενικά κάθε παράγοντα του DRASTIC καθορίζεται από ένα συντελεστή βαρύτητας ο οποίος προκύπτει σύμφωνα με τους Aller et al., από την διεθνή εμπειρία στα θέματα μόλυνσης υπόγειου νερού και ο οποίος παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Συντελεστές βαρύτητας παραγόντων μοντέλου DRASTIC (Aller et al., 1987).
Table 3. Weighting factors for parameters in DRASTIC model (Aller et al., 1987).

	λ_D	λ_R	λ_A	λ_S	λ_T	λ_I
Συντελεστής ανά παράγοντα	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,5



Σχήμα 6. Διάγραμμα Piper
Figure 6. Piper diagram



Σχήμα 7. Διάγραμματα βαθμονόμησης για τους παράγοντες (3) και (6)
Figure 7. Rating diagrams for DRASTIC factors (3) and (6)

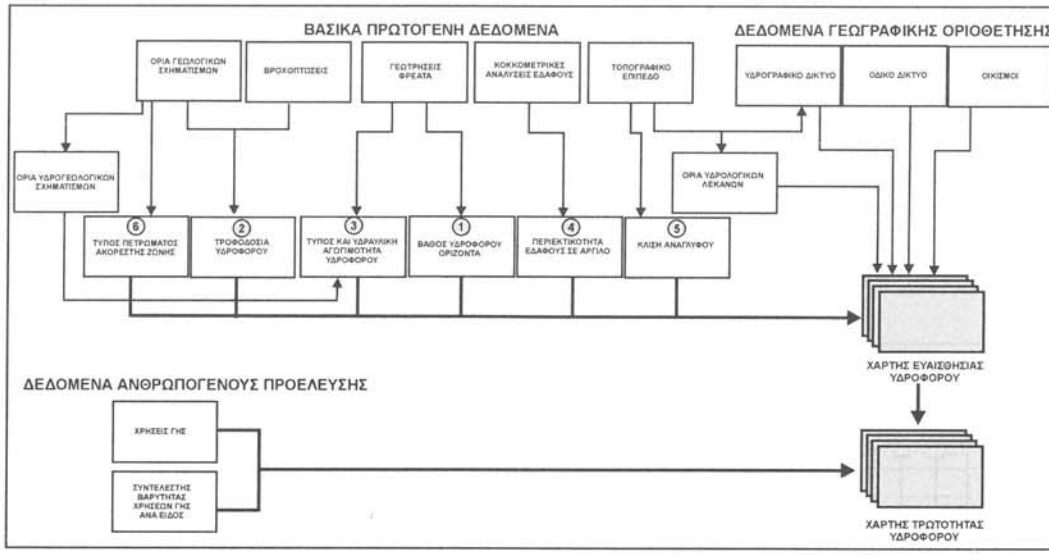
Σε κάθε παράγοντα για λόγους σχετικής μεταξύ τους σύγκρισης αποδίδονται τιμές από 1 έως 10. Η μετατροπή των φυσικών τιμών των παραμέτρων (1), (4), (5) στην κλίμακα αυτή έγινε με βάση τον πίνακα 4, ενώ για την μετατροπή των παραγόντων (3) και (6) χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση του σχήματος 7. Τέλος για την μετατροπή του παράγοντα (2) χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

Τιμή παράγοντα (2)= $[(\text{Μέση ετήσια τροφοδοσία mm}) \times 0{,}0839]^{1/2} + 1$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται διότι ανάγει τις τιμές ετήσιας τροφοδοσίας της περιοχής, οι οποίες κυμαίνονται από 50 έως 950 mm, σε απόλυτη κλίμακα από 1 έως 10, στην οποία ανάγονται και οι υπόλοιποι παράγοντες.

Πίνακας 4. Κλίμακα μετατροπής φυσικών τιμών σε τιμές παραγόντων DRASTIC
Table 4. Conversion scale of natural values to DRASTIC factor values

Βάθος υδροφόρου (m)	Τιμές παράγοντα (1)	Περιεκτικότητα εδάφους σε άργιλο %	Τιμές παράγοντα (4)	Κλίση αναγλύφου %	Τιμές παράγοντα (5)
0-1	10	0-5	10	0-1	10
1-5	9	5-10	9	1-2	9
5-10	8	10-15	8	2-4	8
10-20	7	15-20	7	4-6	7
20-40	6	20-25	6	6-8	6
40-60	5	25-30	5	8-10	5
60-80	4	30-35	4	10-15	4
80-100	3	35-40	3	15-20	3
100-150	2	40-50	2	20-50	2
>150	1	>50	1	>50	1

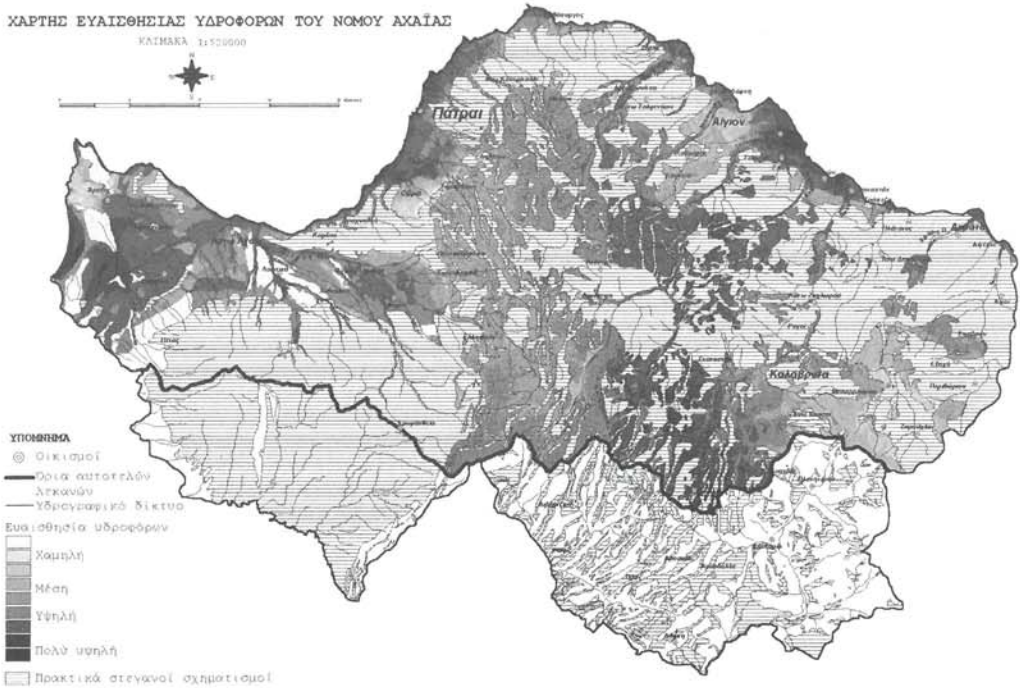


Σχήμα 8. Διαγραμματική απεικόνιση της διαδικασίας για την δημιουργία του χάρτη τρωτότητας της περιοχής έρευνας
Figure 8. Diagram showing the steps for the vulnerability map production for the study area.

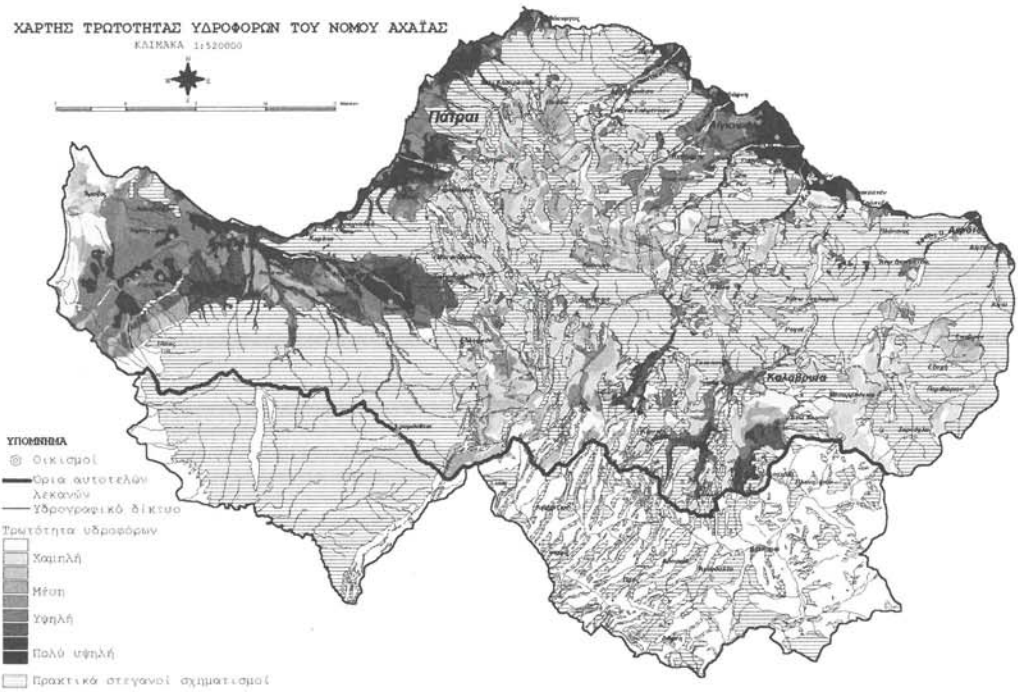
Ο προσδιορισμός των τιμών ευαισθησίας του υδροφόρου καθορίζεται από την εξίσωση:

$$Ds = D\cdot\lambda_D + R\cdot\lambda_R + A\cdot\lambda_A + S\cdot\lambda_S + T\cdot\lambda_T + V\cdot\lambda_V$$

ενώ για τον προσδιορισμό των τιμών τρωτότητας οι τιμές ευαισθησίας πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή ο οποίος καθορίζεται από την σχετική βαθμολόγηση των χρήσεων γης. Όλη η διαδικασία για την κατασκευή των χαρτών ευαισθησίας και τρωτότητας των υδροφόρων με την μέθοδο DRASTIC και με την τεχνική του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (Γ.Π.Σ), παρουσιάζεται στο σχήμα 8. Παρατηρώντας τους χάρτες ευαισθησίας (Σχήμα 9) και τρωτότητας (Σχήμα 10) σε συνδιασμό με τον χάρτη κατανομής νιτρικών (Σχήμα 6) καταλήγουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία συνοψίζονται στα εξής:(α)Σε γενικές γραμμές υψηλές τρωτότητες παρουσιάζουν οι κοκκώδεις υδροφόροι της πεδινής ζώνης λόγω της αυξημένης ευαιασθησίας τους αλλά και των έντονων καλλιεργητικών δραστηριότητων στις αντίστοιχες περιοχές. (β)Οι καρστικοί ασβεστόλιθοι της ορεινής ζώνης παρουσιάζουν γενικά υψηλές ευαισθησίες όχι όμως και υψηλές τρωτότητες λόγω απουσίας έντονων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις αντίστοιχες περιοχές. (γ)Στις περισσότερες περιοχές όπου έχουμε υψηλές τρωτότητες έχουμε αντίστοιχα και υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών (Περιοχές Τέμενης, Λουσικών, Σαγεϊκων)πράγμα που επιβεβαιώνει την σε γενικές γραμμές ορθή λειτουργία του μοντέλου. (δ)Στις περιοχές Μετοχίου και Πτέρης παρουσιάζεται ο συνδυασμός υψηλή ευαισθησία-χαμηλή τρωτότητα-υψηλή συγκέντρωση νιτρικών ο οποίος οφείλεται στο γεγονός ότι η μόλυνση στις περιοχές αυτές προέρχεται αποκλειστικά από σημειακές πηγές μόλυνσης οι οποίες δεν λαμβάνονται άμεσα υπ΄όψην στο μοντέλο της παρούσας εργασίας διότι τα δεδομένα ανθρωπογενούς προέλευσης σε αυτό, προέρχονται από τα δεδομένα χρήσης γης του αντίστοιχου χάρτη όπου ως γνωστό κατατάσσονται χωρικά μέσες τάσεις.



Σχήμα 9. Χάρτης ευαισθησίας για τους υδροφόρους της περιοχής έρευνας
Figure 9. Sensitivity map for aquifers of the study area



Σχήμα 10. Χάρτης τρωτότητας για τους υδροφόρους της περιοχής έρευνας
Figure 10. Vulnerability map for aquifers of the study area

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R. AND HACKET G., 1987. DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potensial Using Hydrogeologic Settings. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/S2-87/035. Cincinnati, Ohio.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ Ν., ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ Κ., ΤΗΝΙΑΚΟΣ Λ. ΚΑΙ ΚΑΛΕΡΓΗΣ Γ., 1994. Τα αποτελέσματα της συνδιασμένης δράσης ξηρασίας και υπερεντατικών αντλήσεων στον υδροφόρο ορίζοντα της λεκάνης του Γλαύκου ποταμού. Πρακτικά 7ου Συνεδρίου της Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. σελ. 411-419

LEVINSON A.A., (1974) Introduction to Exploration Geochemistry, Applied Publishing Ltd., CALGARY.

TSOFLIAS P., 1969. Etude geologique d'un secteur du Nord du Peloponese (Achaie). Ann. Geol. Pays Hellen., 21: 554-650, Athens.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1885-1892, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1885-1892, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΝΔ ΤΡΙΦΥΛΙΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ*

Γ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ[1], Ν. ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας ΝΔ Τριφυλίας παρουσιάζει σημαντικό πλεόνασμα των υδατικών του αποθεμάτων που οφείλεται στον έντονο φυσικό εμπλουτισμό του από τις διαδικασίες της κατείσδυσης και της διήθησης νερού από την κοίτη των ποταμοχειμάρρων. Έτσι οι αυξημένες αντλήσεις για αρδεύσεις των τελευταίων δέκα ετών φαίνεται να μην έχουν προκαλέσει σημαντικά προβλήματα υποβάθμισης του ποιοτικού και ποσοτικού του χαρακτήρα. Η αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού οφείλεται κυρίως σε πρωτογενείς μηχανισμούς υφαλμύρινσης, που προκαλούν μίξη του καρστικού με το θαλασσινό νερό. Οι αυξημένες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν πιθανόν οφείλονται σε κατείσδυση μετεωρικού νερού σε μεγάλο βάθος, όπου το νερό θερμαίνεται και κατόπιν ανέρχεται στην επιφάνεια διαλύοντας στρώματα ανυδρίτη.

ABSTRACT

This paper deals with the hydrogeological-hydrochemical conditions of the SW Trifilia karstic aquifer. The geological bedrock of the research area consists from the Eocene limestones and dolomites and the Oligocene flysch of Gravovou-Tripolitsa zone which are overlying by the Pleiocene and Quaternary recent sediments.

The faulted and folded carbonate sediments comprise an extensive karstic aquifer due to the fissuring and solution processes. The general flow direction of groundwater is N towards S from the Filiatra area towards the Mati coastal karstic spring. The mean hydraulic gradient is 1.1‰ and the mean hydraulic head is more than +10 m.

During last decade, the annual pumping quantities of the aquifer have been dramatically increased because of the large number of the irrigated wells. In the frames of this research, quantitative analysis of the hydrological water balance parameters and detailed piezometric measurements were conducted. These data showed that the karstic aquifer has a positive annual budget due to the high physical recharge from the processes of infiltration and the surface water inflow. The water levels at the wells, have not been changed during the last ten years, that we have information, due to this high recharge and prevents the inland seawater intrusion which can cause the overpumpings from the aquifer.

The hydrochemical conditions of this aquifer were determined with in situ and laboratorial chemical analyses of water samples. These analyses showed increased salinity of the karstic water (mean Cl^- concentration is 157 mg/l), which is caused by physical mixing mechanisms of fresh with seawater - mainly at the Mati coastal karstic spring area (Venturi pipes e.t.c.). Increased salt contents are also present due to the significant amounts of the surface water inflows from recent marine sediments (Pleiocene). The relative high temperatures of karstic water (19.7-24.3 °C) are probably caused from upcoming processes of meteoric water. This water infiltrates through fault zones in great depths where becomes warmer and returns upwards dissolving anydrite beds which is probably the main reason for the increased sulfide concentrations. The evaporitic influence on karstic water chemistry, is presented at the SO_4^{2-}-Cl^- cross-plot.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Καρστικός υδροφόρος, ισοζύγιο υπόγειων νερών, υπεραντλήσεις, υφαλμύρινση, διείσδυση θαλασσινού νερού, εβαπορίτες

KEY WORDS: Karstic aquifer, water-balance, overpumpings, salinization, seawater intrusion, evaporates

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα της επαρχίας Τριφυλίας, Ν. Μεσσηνίας, καταλαμβάνοντας

* INVESTIGATION OF THE GROUNDWATER QUALITY OF THE SW TRIFILIA KARSTIC AQUIFER IN RESPECT WITH THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE AREA

1. Γεωλογικό Τμήμα Παν/μίου Πατρών, 26500, Ρίο

συνολική έκταση 40 Km^2 και περιλαμβάνει στα όρια της τους δήμους Φιλιατρών και Γαργαλιάνων.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από Δ και ΒΔ/κής διεύθυνσης ανέμους, μέση ετήσια θερμοκρασία 16.3 °C ενώ το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε 784.23 mm (Βοχομετρικός σταθμός Γαργαλιάνων).

Πρόκειται για μία καθαρά αγροτική περιοχή με μεγάλες καλλιέργειες θερμοκηπιακών προϊόντων και ελαιοδένδρων, που απαιτούν αυξημένες ποσότητες αρδευτικού νερού. Την τελευταία δεκαετία έχουν ανορυχθεί στην περιοχή εκατοντάδες γεωτρήσεις στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, κυρίως για την άρδευση των ελαιοδένδρων, που έχει οδηγήσει σε εκρηκτική αύξηση των ετήσιων αντλήσεων.

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η περιγραφή και ερμηνεία των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ΝΔ Τριφυλίας και η διάκριση – με κατάλληλες υδροχημικές μεθόδους – των κυρίαρχων μηχανισμών που συνεισφέρουν στην αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι ερευνητικές εργασίες στην περιοχή περιέλαβαν απογραφή των σημείων ύδατος, μετρήσεις της στάθμης του καρστικού υδροφόρου ανά τρεις περιόδους των υδρολογικών ετών 1998-00 και δειγματοληψίες νερού σε συνδυασμό με υπαίθριες και εργαστηριακές χημικές αναλύσεις.

Οι ασταθείς παράμετροι του υπόγειου νερού – θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, δυναμικό οξειδοαναγωγής, διαλελυμένο οξυγόνο και CO_2 – μετρήθηκαν επί τόπου στην ύπαιθρο με χρήση ειδικών φορητών συσκευών της HACH. Τα SO_4^{2-} ιόντα μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο DR/2000 της HACH ενώ τα ιόντα Cl^- με τη μέθοδο τιτλοδότησης της HACH. Η ανάλυση των κατιόντων Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ και Na^+ έγινε με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε με το υδροχημικό πρόγραμμα CH45 (ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1991).

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας συνίσταται από τους Ηωκαινικούς ανθρακικούς σχηματισμούς και τον Ολιγοκαινικό φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως, πάνω στους οποίους επικάθονται με στρωματογραφική ασυμφωνία τα Πλειοκαινικά ιζήματα και οι Τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις (σχήμα 1).

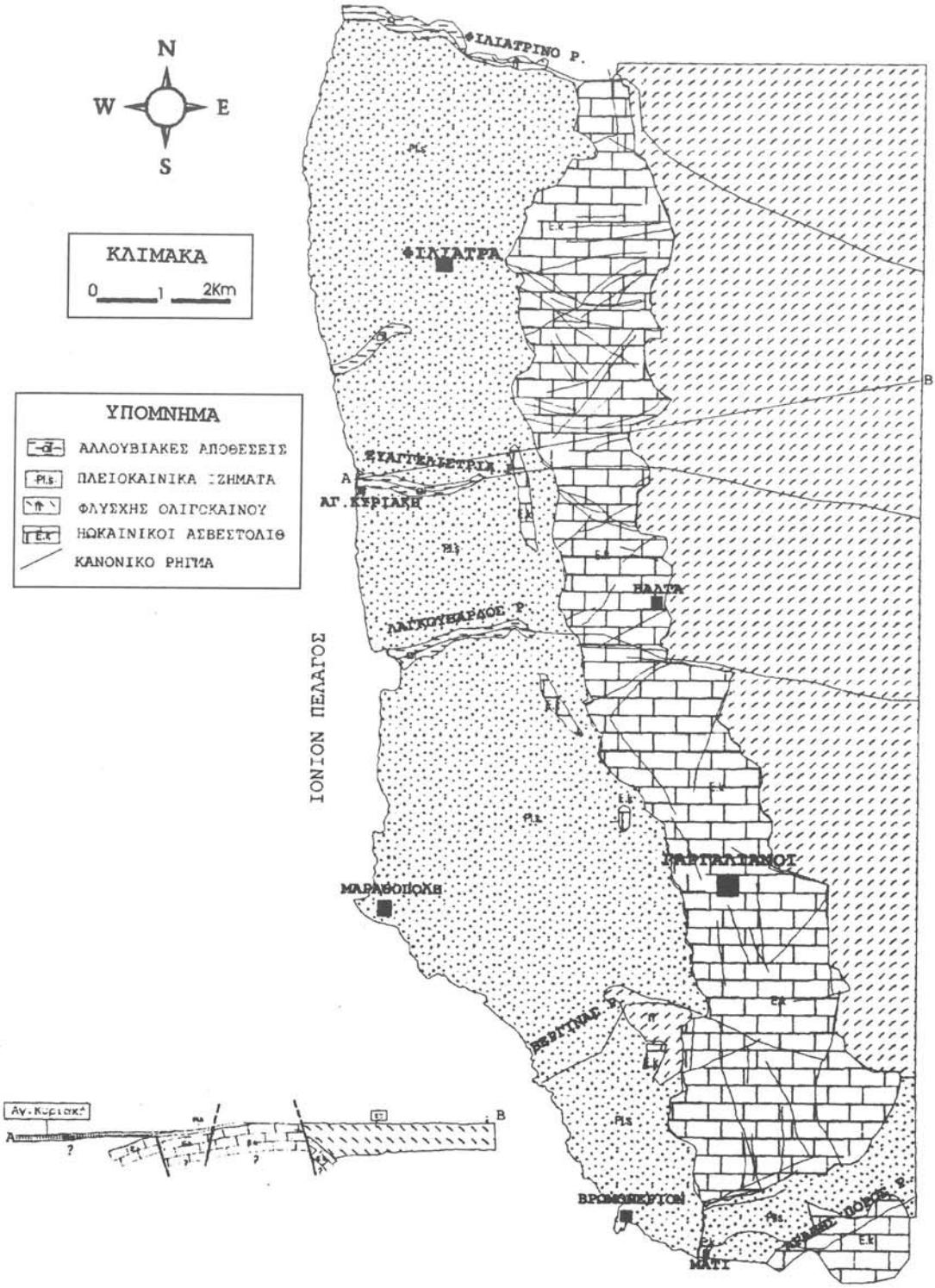
Οι TABITIAN κ.ά (1993) αναφέρουν ότι στη δημιουργία και εξέλιξη της περιοχής πρωταρχικό ρόλο έπαιξαν οι ανοδικές κινήσεις που άρχισαν στο Τυρρήνιο και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Οι κινήσεις αυτές διαπιστώνονται από την παρουσία των Τεταρτογενών αναβαθμίδων και της αντικλινικής δομής των Ηωκαινικών ασβεστόλιθων (KELLETAT et al., 1976).

Κυρίαρχο ρόλο στη γεωλογική κατασκευή της περιοχής παρουσιάζουν οι «ασβεστόλιθοι Φιλιατρών». Πρόκειται για λευκούς έως τεφρούς στρωματώδεις ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους με λίγους πυριτόλιθους και με αξιόλογη περιεκτικότητα σε βιτουμένια. Κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό τους είναι η διάταξή τους σε δομή αντικλίνου, του οποίου ο άξονας διευθύνεται ΒΒΔ-ΝΝΑ. Τα στρώματα παρουσιάζουν γενική διεύθυνση ΒΒΔ και μέση κλίση 20° ΒΒΑ.

Οι ασβεστόλιθοι αυτοί παρουσιάζουν αυξημένη καρστικότητα κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων. Τα πιο χαρακτηριστικά καρστικά φαινόμενα της περιοχής είναι τα ανοιχτά σπήλαια – ενδείξεις παλαιοακτής – που δημιουργήθηκαν από το «σκάψιμο» των κυμάτων που προσέκρουαν στη λοφοσειρά και διατηρήθηκαν και μετά τη βαθμιαία ανάδυση της περιοχής.

Ο σημαντικότερος υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής έρευνας φιλοξενείται στα ανθρακικά ιζήματα της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως. Η αυξημένη υδροφορία τους είναι αποτέλεσμα του δευτερογενούς πορώδους, που οφείλεται στη δράση τεκτονικών τάσεων εφελκυσμού και διάτμησης που οδήγησαν στον κατακερματισμό των πετρωμάτων και το σχηματισμό των απαραίτητων αγωγών κυκλοφορίας του καρστικού νερού. Οι διεργασίες αυτές ενισχύονται από τη διαλυτική δράση του καρστικού νερού που προκαλεί τη διεύρυνση των καρστικών αγωγών.

Το νερό των καρστικών πετρωμάτων υφίσταται, την τελαυταία δεκαετία, εντατική εκμετάλλευση από τους κατοίκους για αρδευτικούς σκοπούς. Εντούτοις, η εκρηκτική αύξηση των αντλήσεων στην περιοχή δεν φαίνεται να επηρέασε καθόλου τη δίαιτα του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα, όπως προέκυψε από σταθμημετρήσεις



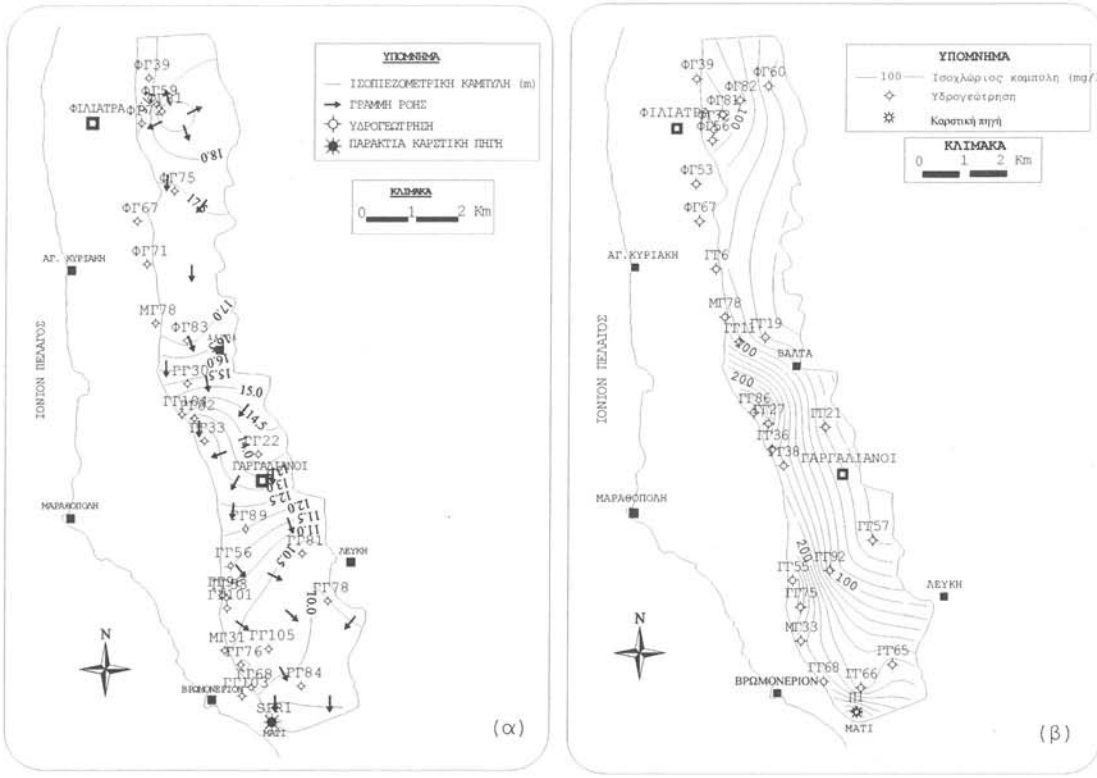
αλλά και το ισοζύγιο υπόγειων νερών που καταρτίστηκε για τον υδροφόρο αυτόν.

Σχήμα 1: Γεωλογικός χάρτης και τομή της περιοχής έρευνας (Ι.Γ.Μ.Ε, 1980)

Figure 1: Geological map and cross-section of the research area (I.G.M.E, 1980)

3.1 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η κατασκευή αξιόπιστων πιεζομετρικών χαρτών στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα της ΝΔ τριφυλίας πραγματοποιήθηκε μετά τη διασφάλιση συνθηκών ηρεμίας του υδροφόρου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και τη διενέργεια χωροσταθμικών μετρήσεων υψηλής ακρίβειας στα σημεία μέτρησης. Στο σχήμα 2α παρουσιάζεται ο πιεζομετρικός χάρτης που αντιστοιχεί στην περίοδο υψηλής στάθμης του καρστικού υδροφόρου



(Απρίλιος 2000).

Σχήμα 2: (α) Πιεζομετρικός χάρτης και (β) χάρτης γεωγραφικής κατανομής των χλωριόντων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας (Μάιος 2000)
Figure 2: (a) Piezometic map and (b) map of the geographical distribution of chlorides at the SW Trifilia karstic aquifer (May 2000)

Από τη μελέτη του παραπάνω χάρτη προκύπτουν τα εξής:

- Η γενική διεύθυνση ροής του υπόγειου καρστικού νερού είναι από Β προς Ν προς την περιοχή της παράκτιας καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων. Αποκλίσεις παρατηρούνται στην περιοχή ΒΔ των Γαργαλιάνων, όπου το νερό φαίνεται να κινείται σε μία διεύθυνση περίπου Α προς Δ και στην περιοχή ΒΑ του Βρωμονερίου όπου η φορά κίνησης μετατρέπεται σε ΝΑ.
- Το υδραυλικό φορτίο του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα παρουσιάζει θετικές τιμές σε όλη του την έκταση, ακόμη και στις παράκτιες περιοχές και μειώνεται σταδιακά από την περιοχή των Φιλιατρών προς την περιοχή της παράκτιας καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων, με απόλυτες στάθμες που ξεπερνούν τα +10 m.
- Η μέση υδραυλική κλίση ανέρχεται σε 1.1‰ και κυμαίνεται από 0.17 έως 3.2‰.

Από τη σύγκριση διαδοχικών πιεζομετρικών χαρτών από ξηρές και υγρές περιόδους προκύπτει ότι η μέση ετήσια διακύμανση της στατικής στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα ανέρχεται σε 1.055 m για το

υδρολογικό έτος 1999-00 ενώ για το έτος 1998-99 ανήλθε σε 2.645 m.

3.2 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Το ισοζύγιο υπόγειων νερών εκφράζεται από τη σχέση (TODD, D. 1980): Εισροές = Εκροές ± υπόγεια αποθήκευση. Για την περιοχή έρευνας η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$I_p + I_W = Q_1 + Q_2 + q \pm R_r$ όπου

I_p η κατείσδυση, I_W η διήθηση από την κοίτη των ποταμοχειμάρρων, Q_1 οι υπόγειες εκροές, Q_2 η παροχή της καρστικής πηγής, q οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες νερού και R_r τα ρυθμιστικά αποθέματα.

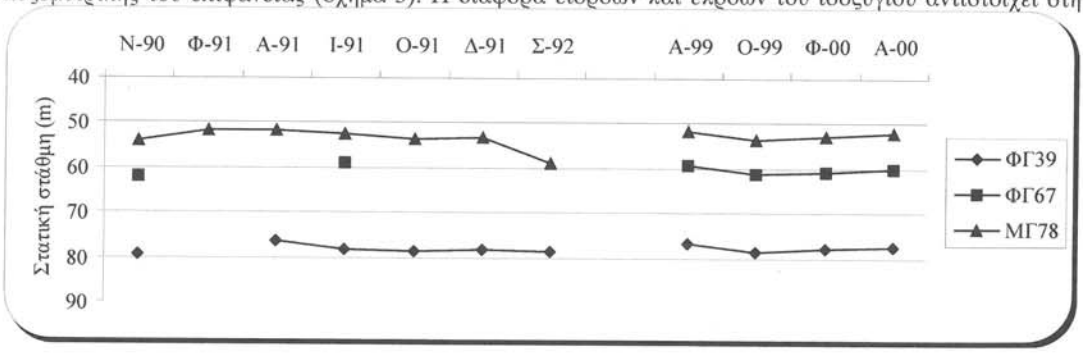
Η παράμετρος της διήθησης, μέσω της κοίτης του χειμάρρου Λαγκούβαρδου, μετρήθηκε σε ημερήσια βάση, με χρήση μυλίσκου, ως η διαφορά της απορροής στα σημεία εισόδου και εξόδου του χειμάρρου στους ασβεστόλιθους Φιλιατρών. Από τις μετρήσεις αυτές εκτιμήθηκε και ο συντελεστής κατείσδυσης των ασβεστόλιθων, που ανέρχεται στο 50% της ετήσιας βροχόπτωσης. Η παροχή της καρστικής πηγής Μάτι Γαργαλιάνων προσδιορίστηκε με μετρήσεις μυλίσκου, οι ετήσιες αντλούμενες ποσότητες νερού από στοιχεία που χορηγήθηκαν από τον Τ.Ο.Ε.Β Φιλιατρών και από στοιχεία των ιδιοκτητών των γεωτρήσεων ενώ τα ρυθμιστικά αποθέματα από τα δεδομένα των πιεζομετρικών μετρήσεων. Τέλος, οι υπόγειες εκροές προσδιορίστηκαν ως η διαφορά μεταξύ των συνολικών εισροών και εκροών από την υδρογεωλογική λεκάνη. Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ισοζύγιο υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα για το υδρολογικό έτος 1999-2000.

Πίνακας 1: Ισοζύγιο υπόγειων νερών του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας για το υδρολογικό έτος 1999-2000 (m^3)

Table 1: Hydrogeological water-balance of SW Trifilia karstic aquifer for the hydrological year 1999-2000 (m^3)

Υδρολογικό Έτος	Έκταση (Km^2)	I_p (x 10^6)	I_W (x 10^6)	Q_1 (x 10^6)	Q_2 (x 10^6)	Q (x 10^6)	R_r (x 10^6)
1999-2000	40	11.64	4.14	4.83	0.15	10.8	0.84

Από το ισοζύγιο αυτό φαίνεται καθαρά ότι ο συνολικός ετήσιος φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα είναι μεγαλύτερος από τις ετήσιες αντλήσεις, γεγονός που εξηγεί τη χρονικά σταθερή πορεία της πιεζομετρικής του επιφάνειας (σχήμα 3). Η διαφορά εισροών και εκροών του ισοζυγίου αντιστοιχεί στην



ποσότητα του καρστικού νερού που εκρέει υποθαλάσσια από τον υδροφόρο.

Σχήμα 3: Χρονική εξέλιξη των επιπέδων στάθμης σε κρατικές γεωτρήσεις Φιλιατρών
Figure 3: Temporal evolution of the water levels at the Filiatra public wells

4. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Προκειμένου να διερευνηθεί ο γεωχημικός χαρακτήρας του καρστικού νερού πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες δειγματοληψίες σε 4 συωολικά υδρολογικές περιόδους των ετών 1999-2000 και χημική ανάλυση των φυσικοχημικών του παραμέτρων επί τόπου στην ύπαιθρο και των αντίστοιχων χημικών του στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί απεικονίζεται η στατιστική ανάλυση των κυριοτέρων φυσικοχημικών παραμέτρων του καρστικού νερού (ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή καθώς και η τυπική τους απόκλιση).

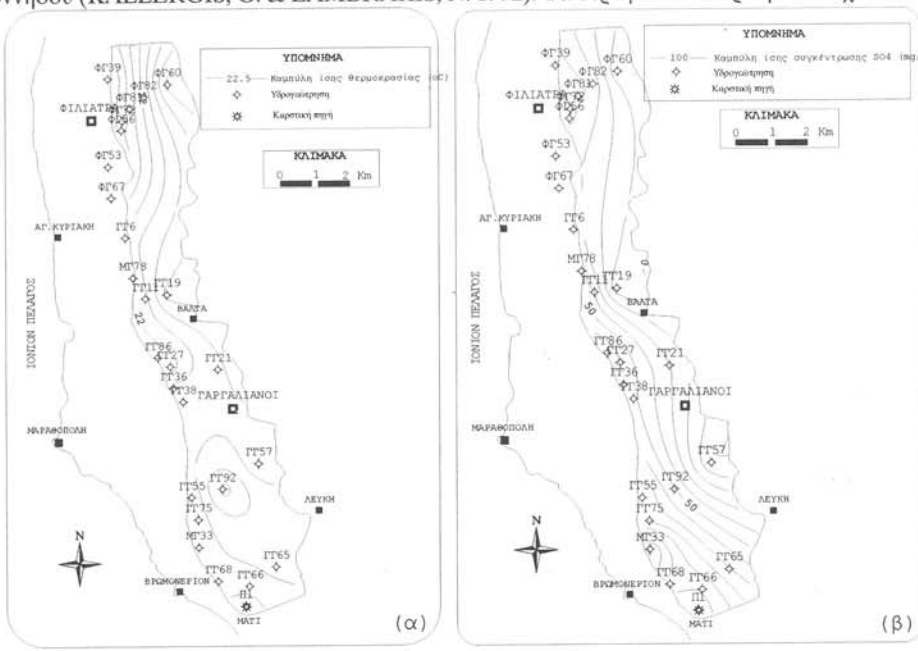
Πίνακας 2: Στατιστικά υδροχημικά χαρακτηριστικά του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα (Μάιος 2000). T: Θερμοκρασία (°C), Eh: Δυναμικό οξειδοαναγωγής (mV), EC: Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm). Ιοντικές συγκεντρώσεις σε mg/l

Table 2: Statistical hydrochemical characteristics of the karstic aquifer (May 2000). T: Temperature (°C), Eh: Redox potential, EC: electrical conductivity (μS/cm). Ionic concentrations in mg/l

	T	pH	Eh	DO_2	CO_2	EC	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}
Min	19.7	7.28	-1	1.02	24	681	17.4	72.1	11	0.13	18	0
Max	24.3	8.15	276	5.3	135	2290	51.5	165	218	8.03	338	124
Aver	21.8	7.65	139	2.92	68.1	1440	36.8	103	92.8	3.88	157	53.9
St.D	1.15	0.23	71.5	1.36	27.7	427	8.15	21.7	56.1	1.96	98	30.6

Στο σχήμα 2β παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των χλωριόντων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, ενός στοιχείου που σχετίζεται άμεσα με τις διαδικασίες της υφαλμύρινσης. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων αυξάνονται γενικά κατά τις διευθύνσεις Βπρος Ν και Α προς Δ, που συμπίπτουν και με τη διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του καρστικού νερού, οι οποίες κυμαίνονται από 19.7 έως 24.3 °C (σχήμα 4α). Οι μικρότερες τιμές απαντώνται στο ανατολικό τμήμα του υδροφόρου, το οποίο και γενικά χαρακτηρίζεται από νερό Ca^{2+}-HCO_3^- τύπου ενώ οι μεγαλύτερες τιμές στο βόρειο τμήμα, δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή Φιλιατρών. Οι αυξημένες αυτές τιμές της θερμοκρασίας μπορούν να αποδοθούν σε κατείσδυση μετεωρικού νερού σε μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, όπου θερμαίνεται, εμπλουτίζεται σε συστατικά του υποβάθρου και κατόπιν ανέρχεται και αναμιγνύεται με το καρστικό νερό. Κατά την άνοδό του διαλύει στρώματα ανυδρίτη και εμπλουτίζεται σε θειϊκά ιόντα ενώ η παρουσία H_2S (περιοχή Βρωμονερίου) οφείλεται στην αναγωγή των SO_4^{2-} ιόντων, όπως συμβαίνει και σε άλλες περιοχές της δυτικής Πελοποννήσου (KALLERGIS, G. & LAMBRAKIS, N. 1992). Τα στρώματα ανυδρίτη αυτά έχουν διατρηθεί σε



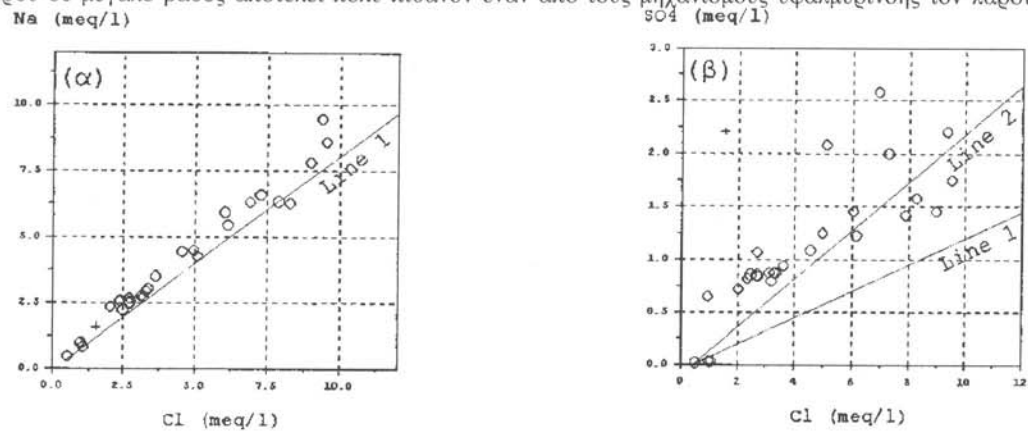
γεώτρηση βάθους 3754 m της Β.Ρ στην περιοχή Φιλιατρών (ΚΑΜΠΕΡΗΣ, Ε. 1987).

Σχήμα 4: (α) Γεωγραφική κατανομή της θερμοκρασίας και (β) των θειϊκών ιόντων στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας (Μάιος 2000)

Figure 4: (a) Geographical distribution of temperature and (b) sulfides at the

Προκειμένου να διαχωριστούν, οι υδροχημικοί μηχανισμοί που συνεισφέρονν στην υφαλμύρινση του καρστικού νερού χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα ιοντικών συγκεντρώσεων (cross-plots) Na^+-Cl^- και SO_4^{2-}-Cl^-, μία μέθοδος που έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ανάλογες περιπτώσεις από διάφορους ερευνητές (TELLAM, J. H. & LLOYD, J. W. 1986, FIDELIBUS, M.D. & TULIPANO, L. 1990, SANCHEZ MARTOS, F. et al., 1999). Στο σχήμα 5α παρουσιάζεται το διάγραμμα Na^+-Cl^-, από το οποίο προκύπτει η γραμμική συσχέτιση των δύο αυτών ιόντων, που δηλώνει την κοινή προέλευσή τους. Η προέλευσή τους έχει άμεση σχέση με το θαλασσινό νερό, δεδομένου ότι τα δείγματα διατάσσονται σχεδόν παράλληλα με τη γραμμή μίξης γλυκού και θαλασσινού νερού (Line 1).

Αντίθετα από το σχήμα 5β προκύπτεί ότι τα SO_4^{2-} ιόντα δεν προέρχονται από μηχανισμούς μίξης γλυκού και θαλασσινού νερού αφού όλα τα δείγματα διατάσσονται πάνω από την αντίστοιχη γραμμή μίξης (Line 1) . Η διάταξη των ιόντων πολύ κοντά στη γραμμή μίξης 2 (Line 2) υποδηλώνει ότι το καρστικό νερό έχει έρθει σε επαφή με εβαποριτικά στρώματα, από τα οποία έχει εμπλουτιστεί σε θειϊκά ιόντα. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με τη γεωγραφική κατανομή των ιόντων αυτών (σχήμα 4β, από την οποία φαίνεται η αυξημένη συγκέντρωσή τους σε όλη την έκταση του υδροφόρου ορίζοντα - με αιχμή τιμών στην ευρύτερη περιοχή Βρωμονερίου - και τις αυξημένες τιμές θερμοκρασίας του καρστικού νερού, δείχνει ότι η κατείσδυση μετεωρικού νερού σε μεγάλο βάθος αποτελεί πολύ πιθανόν έναν από τους μηχανισμούς υφαλμύρινσης τον καρστικού



υδροφόρου ορίζοντα.

Σχήμα 5: Διαγράμματα ιοντικών συγκεντρώσεων (α) Na^+-Cl^- και (β) SO_4^{2-}-Cl^- στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας Μάιος 2000). ο: καρστικό νερό, +: χείμαρρος Λαγκούβαρδος. Line 1: Γραμμή μίξης γλυκού θαλασσινού νερού, Line 2: Γραμμή μίξης γλυκού νερού και νερού εβαποριτικών ιζημάτων.

Figure 5: Cross-plots (α) Na^+-Cl^- and (b) SO_4^{2-}-Cl^- in the SW Trifilia karstic aquifer (May 2000). o: karstic water, +: Lagouvardos stream. Line 1: Fresh water - sea water mixing line, Line 2: Mixing line of fresh water with water of evaporitic sediments

Σημαντικό ρόλο επίσης στην αυξημένη αλατότητα του καρστικού νερού παίζει και η διήθηση μεγάλων ποσοτήτων νερού ετησίως από την κοίτη των ποταμοχειμάρρων της περιοχής (4.14×10^6 m^3) . Το νερό των χειμάρρων αυτών παρουσιάζει υψηλές τιμές Ca^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, SO_4^{2-} και Cl^-, λόγω απόπλυσης των Πλειοκαινικών θαλασσίων ιζημάτων (ασβεστοψαμμίτες), με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην αύξηση των τιμών της αλατότητας του καρστικού νερού.

Η συμμετοχή τον θαλασσινού νερού στις υδροχημικές διαδικασίες υφαλμύρινσης τον καρστικού υδροφόρου ορίζοντα δια μηχανισμών π.χ. σωλήνων Venturi ή παρόμοιων, φαίνεται πολύ πιθανή. Η ανάμειξή του με το γλυκό νερό δεν προκαλείται όμως από τη γνωστή διαδικασία μείωσης ή αναστροφής της φυσικής υδραυλικής κλίσης τον υδροφόρου προς τη θάλασσα που προκαλούν οι έντονες αντλήσεις σε παράκτιες περιοχές (ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π. & ΜΑΚΡΗΣ, Α., 1993 και TAVITIAN, C. & SAMPATAKAKIS, P., 1994). Αντίθετα, φαίνεται να υπάρχει μία φυσική υδραυλική επικοινωνία γλυκού και θαλασσινού νερού, τουλάχιστον όσον αφορά την παράκτια υφάλμυρη καρστική πηγή Μάτι Γαργαλιάνων. Το ίδιο είναι πιθανόν να συμβαίνει και στο

δεύτερο μεγάλο μέτωπο υφαλμύρινσης ΝΔ της Βάλτας (βλ. σχήμα 2β), όπου υπάρχει και το μεγάλο κατακόρυφο ρήγμα του Λαγκούβαρδου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υδρογεωλογική έρευνα στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας έδειξε τα εξής:

- Υπάρχει πλεόνασμα στο ισοζύγιο εισροών-εκροών στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα ΝΔ Τριφυλίας. Εξαιτίας του αυξημένου αυτού φυσικού εμπλουτισμού, οι έντονες αντλήσεις της τελευταίας δεκαετίας ($10.8x10^6$ m^3 ετησίως) δεν φαίνεται να έχουν προκαλέσει περαιτέρω προβλήματα ποιοτικής υποβάθμισης του καρστικού νερού.
- Παρατηρήθηκαν αυξημένες θερμοκρασίες του υπόγειου καρστικού νερού, ιδιαίτερα στην περιοχή Φιλιατρών, που αποτελούν ένδειξη κατείσδυσης μετεωρικού νερού σε μεγάλο βάθος και διάλυσης συστατικών του υποβάθρου. Οι σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις θειϊκών ιόντων πιθανόν να οφείλονται σε διάλυση εβαποριτικών στρωμάτων, που υπάρχουν σε μεγάλο βάθος στην περιοχή, όπως φάνηκε από την ανάλυση του διαγράμματος SO_4^{2-}-Cl^-.
- Η διείσδυση του θαλασσινού νερού στον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα δεν προκαλείται από ανθρώπινες επεμβάσεις (υπεραντλήσεις) αλλά πρωτογενώς από φυσικούς μηχανισμούς επικοινωνίας του γλυκού με το αλμυρό νερό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε από την Επιτροπή Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση των υδροχημικών μηχανισμών υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφόρων οριζόντων».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

FIDELIBUS, M.D. & TULIPANO, L. 1990. *Major and minor ions as natural tracers in mixing phenomena in coasta carbonates aquifers of the Apulia*. Proceedings of the 11th Salt Water Intrusion Meeting, 283-293.

Ι.Γ.Μ.Ε. 1980. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας 1:50.000, Φύλλο Φιλιατρά*.

KALLERGIS, G. & LAMBRAKIS, N. 1992. *Contribution à l' étude des sources thermominérales de Kaiafa*. Hydrogéologie, 3, 127-136.

ΚΑΜΠΕΡΗΣ, Ε. 1987. *Γεωλογική και Πετρελαιολογική μελέτη της ΒΔ Πελοποννήσου*. Διδακτορική διατριβή. Ε.Μ.Π, σελ. 143.

KELLETAT, D., KOWALCZYC, G., SCHRÕDER, B. & WINTER, K.P. 1976. *A synoptic view on the neotectonic development of the Peloponnesian coastal region*. Z. dt. geol. Ges. 127, Hannover, 447-465.

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν. 1991. *Επεξεργασία των δεδομένων αναλύσεων των νερών*. Ορυκτός Πλούτος, 74, 53-60.

ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Π. & ΜΑΚΡΗ, Α. 1993. *Φαινόμενα υφαλμύρωσης και δυνατότητες ορθολογικής διαχείρησης σε παράκτιους υδροφόρους της ΝΔ και της ΝΑ Πελοποννήσου*. Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 821-841.

SANCHEZ MARTOS, F., PULIDO BOSCH, A. & CALAFORRA, J. 1999. *Hydrochemical processes in an arid region Europe (Almeria, SE Spain)*. Applied Geochemistry, 14, 735-745.

TAVITIAN, C. & SAMPATAKAKIS, P. 1994. *Aspects of groundwater salinization in Filiatra limestones*. Bulletin of the Geological Society of Greece, XXX/4, 201-210.

TELLAM, J.H. & LLOYD, J. W. 1986. *Problems in the recognition of seawater intrusion by chemical means: an example of apparent chemical equivalence*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 19, 389-398.

TODD, D. 1980. *Groundwater Hydrology*, 535pp. (John Wiley & Sons, 2nd edition.

ΤΑΒΙΤΙΑΝ, Κ., ΤΗΝΙΑΚΟΣ, Λ. & ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. 1993. *Συντελεστής διήθησης στις κοίτες των χειμάρρων σε Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Τριπόλεως στη Δ. Τριφυλία*. Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 447-460.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1893-1901, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1893-1901, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ*

Σ. ΠΑΝΙΛΑΣ [1], Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ [2]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών των Τεταρτογενών αποθέσεων που υπέρκειντι της λιγνιτικής σειράς του νότιου τμήματος της λεκάνης Πτολεμαϊδας. Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στα κύρια στοιχεία και στα ιχνοστοιχεία νερού, διαπιστώνεται ότι ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας έχει υποστεί σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας του που οφείλεται στους εξής κυρίως λόγους:

- Την υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στο κεντρικό τμήμα
- Την διήθηση υψηλών ρυπαντικών φορτίων θειικών ιόντων του ρέματος Σουλού στον υδροφόρο πλησίον του ορυχείου του Ν. Πεδίου
- Τη διαστάλαξη υψηλών ρυπαντικών φορτίων των απορροφητικών βόθρων και σκουπιδότοπων στα περιθώρια της λεκάνης.

Η καταλληλότητα των υπόγειων νερών για τις υδρευτικές ανάγκες σε πολλές περιπτώσεις είναι επιβαρημένα, εξ΄ αιτίας της υψηλής συγκέντρωσης κυρίως σε αμμώνιο (NH_4) και νιτρώδη (NO_2). Διαπιστώθηκε ότι το 38 % των δειγμάτων έχουν υπερβεί την ανώτατη τιμή καταλληλότητας για πόση σε μια ή περισσότερες από τις παραμέτρους. Από την ανάλυση των ιχνοστοιχείων παρατηρήθηκε ότι μόνο σε λίγα δείγματα οι συγκεντρώσεις σε Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cd^{2+}, Al^{3+}, Ba^{2+} και Cr βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας.

ABSTRACT

The present paper deal with the groundwater quality in the Quaternary sediments overlying the lignite seam in the south area of Ptolemais basin. After the results of ground water analysis in the major and minor elements it is estimated that the upper aquifer has undergone significant water quality because of: The excess of nitrogenous fertilizer in the central area of Sarigiol - The water drainage of Soulou stream in to aquifer near the south field lignite mine, which is proved by high concentrations of sulphur ions - The drainage liquid which originated from septic tanks and landfills in the board area basin.

The groundwater utilization for drinking purpose in many case is not recommended because of the high concentrations of ammonia (NH_4) and nitrate (NO_2). Is also found that 38 % of the analysed samples have more than one parameters that exceed groundwater quality standards. In few samples the minor elements concentrations as Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cd^{2+}, Al^{3+}, Ba^{2+} and Cr are above drinking water standards.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Πτολεμαϊδα, ποιότητα υπόγειων νερών, κύρια στοιχεία, ιχνοστοιχεία
KEY WORDS: Ptolemais, ground water quality, major elements, minor elements

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διερεύνηση της ποιότητας των υπόγειων νερών στο νότιο τμήμα της λεκάνης Πτολεμαϊδας απετέλεσε μέρος του ερευνητικού προγράμματος ΈΛΙΜΕΙΑ΄ (Πανίλας et. al 2000), που χρηματοδοτήθηκε από την ΓΕΓΕΤ (ΕΠΕΤ ΙΙ) και αφορά την ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Σύμφωνα με την απογραφή υφιστάμενων υδροληπτικών έργων υπόγειων νερών, από τις 344 γεωτρήσεις που απεγράφησαν, οι 282 χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών με ετήσια απόληψη 23 $*10^6$ m^3, 26 γεωτρήσεις αντλούν περί τα 5,4$*10^6$ m^3 για την αποστράγγιση των λιγνιτωρυχείων της Δ.Ε.Η, 32 γεωτρήσεις καλύπτουν τις υδρευτικές ανάγκες των κοινοτήτων και της πόλης Κοζάνης και 4 γεωτρήσεις για βιομηχανική υδροδότηση.

* GROUND WATER QUALITY IN SOUTH FIELD OF PTOLEMAIS BASIN

1. Δ.Ε.Η Δ/νση Λιγνιτικών Ερευνών Ιερολοχιτών 28α 66100 Δράμα
2. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών Ε.Μ.Π 15783 Ζωγράφου Αθήνα

Ο υδροφορέας που αναπτύσσεται στα τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης Σαριγκιόλ και αντλείται από τις γεωτρήσεις αυτές βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης (Dimitrakopoulos et,al 2000). Η συνεχιζόμενη διαχρονική ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με το διαπιστωμένο αρνητικό ελλειμματικό ισοζύγιο, αλλά και οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις που γίνονται στα εδάφη της περιοχής με την υπερβολική χρήση γεωργικών λιπασμάτων και με την ανεξέλεγκτη διάθεση οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων, οδηγούν στην ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών του τεταρτογενούς υδροφορέα που αποτελεί και την βασική πηγή υδροληψίας των κοινοτήτων και της πόλης Κοζάνης.

2. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το νότιο τμήμα της λεκάνης Πτολεμαϊδας γνωστό με το όνομα Σαριγκιόλ ανήκει στη τεκτονική τάφρο Μοναστηρίου-Φλώρινας-Πτολεμαϊδας (Παυλίδης, 1985). Αποτελεί κλειστή λεκάνη που οριοθετείται βόρεια από το ασθενές τεκτονικό έξαρμα του Κομάνου που την χωρίζει μορφολογικά και υδρολογικά από το κύριο μέρος της εσωτερικής λεκάνης Πτολεμαϊδας-Βεγορίτιδας. Τρία κύρια υδροφόρα συστήματα αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή του νοτίου τμήματος της λεκάνης Πτολεμαϊδας:

1. Το υδροφόρο σύστημα που αναπτύσσεται στους χαλαρούς σχηματισμούς των τεταρτογενών ιζημάτων που υπέρκεινται της λιγνιτικής σειράς η οποία αποτελεί το στεγανό δάπεδό του. Οι επάλληλοι υδροφορείς που σχηματίζονται μέσα σ΄ αυτούς εμφανίζονται ενιαίοι σε μεγάλη έκταση παρά τις τοπικές παρεμβολές αργιλικών και αγιλομαργαϊκών αποσφηνουμένων ενστρώσεων και φακών. Πιεζομετρικές παρατηρήσεις (Λουλούδης 1991, Δημητρακόπουλος et.al 1996) έδειξαν ότι δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των καρστικών νερών των ορεινών περιθωρίων της λεκάνης και του υπόγειου νερού του υδροφορέα των τεταρτογενών της χαμηλής πεδινής ζώνης. Ο υδροφορέας αυτός αποτελεί το κύριο έως σήμερα εκμεταλλευόμενο σύστημα που βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης με το διαπιστωμένο αρνητικό ελλειμματικό ισοζύγιο της τάξης των $7*10^6 m^3$ ετησίως.
2. Το υδροφόρο σύστημα που αναπτύσσεται στα κοκκώδη ιζήματα που υπόκεινται των λιγνιτών. Λόγω των κλιμακωτών ρηγμάτων ο υδροφορέας έχει τοπικά μόνο διερευνηθεί με τρεις γεωτρήσεις στην περιοχή του εξάρματος του Κομάνου. Νοτιότερα βυθίζεται σημαντικά και δεν υπάρχουν πληροφορίες.
3. Το βαθύ πλούσιο καρστικό υδροφόρο σύστημα που αναπτύσσεται μέσα στους αποκαρστωμένους και διαρρηγμένους τριαδικούς ασβεστόλιθους του Σκοπού του νότιου Βερμίου και του νότιου Άσκιου, το οποίο εκτονώνεται από τις υψηλών παροχών πηγές Νεράϊδας που έχουν κατακλυσθεί από την τεχνητή λίμνη Πολυφύτου.
4. Μικροί σε έκταση και δυναμικό επικρεμάμενοι καρστικοί υδροφόροι αναπτύσσονται στους μικρούς διάσπαρτους όγκους των κρητιδικών ασβεστολίθων, σημαντικότερος των οποίων είναι ο επικρεμάμενος υδροφορέας Μαυροδενδρίου-Ποντοκώμης στις ΝΔ παρυφές της λεκάνης Σαριγκιόλ.

3. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

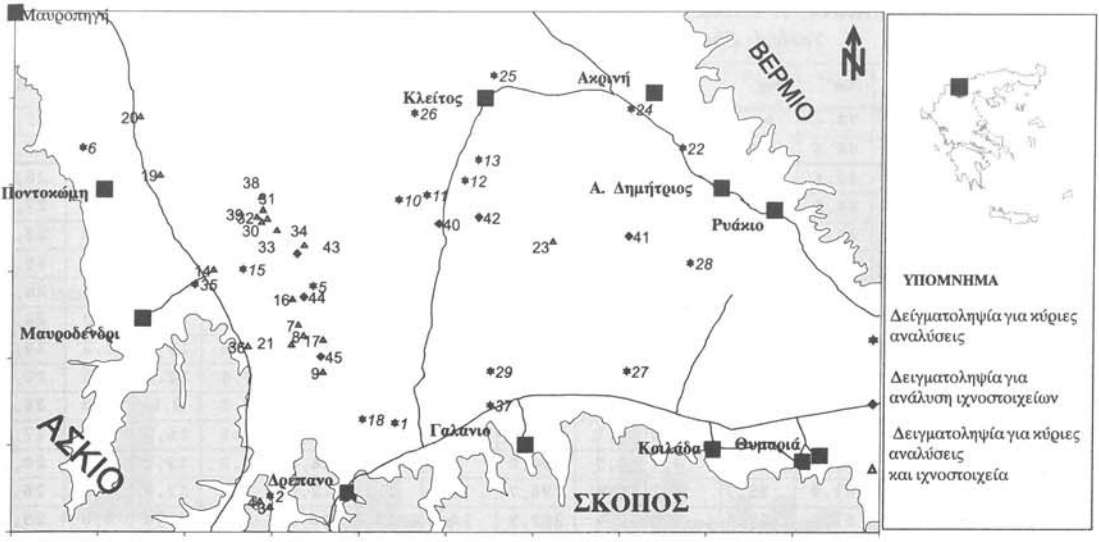
1) Δειγματοληψία νερού – Μέθοδοι ανάλυσης

Για τον προσδιορισμό της ποιότητας των νερών του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στις τεταρτογενείς αποθέσεις της ευρύτερης περιοχής του Σαριγκιόλ ελήφθησαν από 45 γεωτρήσεις δείγματα νερού. Από αυτές πραγματοποιήθηκαν 39 αναλύσεις για τον προσδιορισμό των κύριων φυσικοχημικών παραμέτρων τους και σε 26 γεωτρήσεις προσδιορίστηκαν 16 εκ των κυριότερων ιχνοστοιχείων (Ιουλ.1998). Επαναληπτικές αναλύσεις (Ιουλ.1999) έγιναν σε 8 γεωτρήσεις. Στον χάρτη της Εικόνας 1 απεικονίζονται τα σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα.

Τα δείγματα του νερού αναλύθηκαν στο Χημείο του Α.Η.Σ Καρδιάς της Δ.Ε.Η και στο Κέντρο Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων (Κ.Δ.Ε.Π) της Δ.Ε.Η στην Παλλήνη Αττικής.

Ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία ανάλυσης των φυσικοχημικών παραμέτρων:

- Το pH και η ειδική αγωγιμότητα προσδιορίστηκαν με αγωγιμόμετρο τύπου TOA CM–405 και πεχάμετρο τύπου CRISON 2001 αντίστοιχα.
- Τα στοιχεία Ασβέστιο (Ca), Μαγνήσιο (Mg), Κάλιο (K) και Νάτριο (Na) προσδιορίστηκαν με τον φασματογράφο επαγωγικού πλάσματος, μετά από κατάλληλες επεξεργασίες των διηθημάτων των δειγμάτων.
- Τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) προσδιορίστηκαν μετά τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας με τιτλοδότηση ορισμένου όγκου των δειγμάτων με διάλυμα θειικού οξέος 0,1 N μέχρι pH 4,6
- Τα υπόλοιπα ανιόντα προσδιορίστηκαν με τον ιοντικό χρωματογράφο HPLC, τύπου DIONEX DX-120
- Όλα τα ιχνοστοιχεία προσδιορίστηκαν με το φασματογράφο επαγωγικού πλάσματος τύπου Perkin Elmer plasma 1000, μετά από κατάλληλες προετοιμασίες των οξινισμένων, με νιτρικό οξύ, δειγμάτων.



Εικόνα 1: Σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών του Νοτίου τμήματος Λεκάνης Πτολεμαΐδας
Figure 1: Location of the sampling sites of groundwater in South Ptolemais basin

2) Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων

Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (Πίνακας 1)προκύπτουν ότι:

- Οι τιμές του pH κυμαίνονται από 7,1 έως 8,3 που χαρακτηρίζουν τα νερά από ουδέτερα έως βασικά. Με μεγαλύτερες συχνότητες εμφανίζονται οι τιμές 7,5 έως 8 (Εικ.2)
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 345 έως 1510 μS/cm. Στην πλειονότητα τους οι τιμές παρουσιάζονται χαμηλές (Εικόνα 2) που μαρτυρούν ότι τα υπόγεια νερά ανανεώνονται σχετικά γρήγορα. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυξάνουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά περιθώρια της λεκάνης
- Οι τιμές συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου κυμαίνονται από 32,9 έως 123,6 mg/l και μαγνησίου μεταξύ 2,4 και 149,4 mg/l (Εικόνα 2). Οι μικρότερες τιμές των ιόντων του Ca^{2+} εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης με τάση αύξησης προς από Ν και προς ΒΔ. Αντίθετα οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του Mg^{2+} βρίσκονται επικεντρωμένες στο Νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης.
- Οι τιμές των ιόντων νατρίου κυμαίνονται μεταξύ 2,7 και 38 mg/l, με τα περισσότερα δείγματα να έχουν συγκεντρώσεις κάτω των 20 mg/l.
- Οι τιμές των ιόντων χλωρίου κυμαίνονται στα περισσότερα δείγματα σε χαμηλά επίπεδα κάτω των 25 mg/l (Εικόνα 2). Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα με κωδικό 6 που παρουσιάζει υψηλή τιμή 459 mg/l. Επαναληπτική ανάλυση νερού της ίδιας γεώτρησης τον Φεβ. του 1999 έδωσε Cl 558 mg/l. Πρόκειται για τοπική ρύπανση του υδροφόρου από παρακείμενο τυροκομείο. Η χωρική κατανομή των ιόντων χλωρίου δείχνουν μια ομαλή αύξηση των τιμών από τα ανατολικά περιθώρια προς το κεντρικό τμήμα της λεκάνης Σαριγκιόλ και με τις υψηλότερες τιμές να λαμβάνει ο υδροφορέας πλησίον της περιοχής του ορυχείου του Ν. Πεδίου.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα κύρια στοιχεία
Table 1: Chemical analyses results in the major elements

Κωδ.	pH	E.C µs/cm	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	SO_4^{--}	NO_3^{-}	NH_4^{+}	SiO2	Fe+++	T.H
1	7,3	595	78,6	28,3	7,9	0,8	323,3	16,7	14,8	22,5	0,5	16,6	0,0	31,2
2	7,7	543	48,6	35,3	5,6	0,8	272,1	8,2	47,7	10,5	0,0	21,2	0,0	26,6
*3[1]	7,6	506	48,6	34,8	3,5	0,7	285,5	6,4	29,2	12,5	0,0	21,1	0,0	26,4
*4[1]	7,7	515	64,3	27,9	2,9	0,3	306,2	11,7	5,1	15,0	0,0	8,5	0,0	27,5
5	7,8	499	45,0	30,1	13,5	0,7	214,7	25,7	38,7	5,5	0,8	15,7	0,0	23,6
*6	7,7	1510	98,6	149,4	33,0	2,6	336,7	459,1	26,5	14,5	0,1	23,2	0,0	86,0
*7[1]	7,8	515	43,6	36,6	20,0	0,7	250,1	22,7	32,3	6,0	0,8	16,3	0,0	25,9
*8[-1]	7,8	528	33,6	38,8	19,5	0,8	295,2	11,3	9,9	7,5	0,5	19,5	0,0	24,3
9[-1]	7,9	423	32,9	26,6	17,0	0,1	237,9	16,3	7,6	13,5	0,6	15,4	0,3	19,1
10	7,7	424	41,4	23,5	5,5	0,7	213,5	9,6	8,2	27,0	0,4	12,2	0,0	20,0
*11	7,5	504	33,6	43,1	5,2	1,3	251,3	13,8	18,7	33,5	2,0	9,8	0,3	26,1
12	8,0	352	36,4	20,5	10,0	0,7	220,8	6,4	6,0	8,0	2,1	15,0	0,0	17,5
13	7,7	383	45,0	22,2	3,7	0,5	194,0	6,3	9,5	26,0	0,3	13,7	0,1	20,4
14[-1]	7,6	539	47,9	35,7	5,2	0,4	296,7	13,5	12,6	12,0	0,0	17,4	0,1	26,6
15	7,5	535	57,1	27,4	6,0	0,4	287,9	14,2	17,3	16,5	0,0	18,4	0,0	25,5
16[-1]	7,8	483	37,1	34,0	10,0	0,7	273,3	7,1	9,5	6,0	0,5	17,2	0,0	23,2
17[-1]	7,8	447	37,9	36,2	13,5	0,7	247,7	16,3	12,1	11,5	1,6	17,8	0,0	24,3
*18	7,1	783	62,9	53,1	12,5	0,8	378,2	20,6	16,3	24,0	1,2	17,7	0,0	37,5
*19[-1]	7,5	922	101,4	46,2	8,3	0,4	339,1	30,5	59,1	37,5	0,0	16,0	0,1	44,3
20[-1]	7,3	1050	123,6	54,4	13,0	0,3	362,3	37,6	91,6	37,5	0,0	15,2	0,0	53,2
21[-1]	7,7	565	46,4	39,6	14,5	0,8	261,1	23,8	26,3	7,5	0,5	17,6	0,0	27,9
22	7,6	358	43,2	20,0	4,6	0,7	201,3	3,3	3,0	26,4	0,0	21,4	0,0	19,0
23[-1]	7,7	360	36,0	23,9	5,3	0,8	183,0	6,2	2,0	39,7	0,0	22,0	0,2	18,8
24	7,7	345	56,0	17,0	3,7	0,9	176,9	4,5	2,1	30,6	0,0	20,0	0,3	21,0
25	7,4	399	62,4	5,9	5,9	0,7	189,1	5,3	5,8	27,8	0,0	15,0	0,0	18,0
26	7,3	356	76,0	2,4	4,1	0,7	244,0	5,4	6,0	24,3	0,0	9,0	0,3	19,9
27	7,5	564	56,0	30,5	13,5	1,8	323,3	3,8	6,0	30,4	0,0	19,0	0,1	26,5
28	7,8	475	60,0	18,3	2,7	0,7	274,5	3,4	28,4	3,9	0,0	9,5	0,0	22,5
29	7,6	418	39,2	25,3	8,4	0,7	244,0	2,7	2,6	6,2	0,0	23,8	0,1	20,2
30[-1]	8,0	665	58,8	46,1	10,8	0,9	214,0	90,0	78,0	4,6	0,7		0,0	33,6
31[-1]	8,0	670	65,7	48,7	9,9	0,9	226,0	86,0	83,0	4,1	0,6		0,0	36,4
32[-1]	7,9	721	66,7	48,2	14,6	0,6	183,0	110,0	83,0	6,7	1,0		0,0	36,5
33[-1]	8,1	678	70,9	50,5	10,0	0,8	266,0	47,0	95,0	13,9	0,7		0,0	38,5
34[-1]	7,9	594	58,1	37,2	12,7	1,8	311,0	26,0	61,0	1,1	0,7		0,3	29,8
35	7,5	741	72,9	40,5	4,9	0,5	339,0	12,4	13,3	31,5	0,8	12,7	0,0	34,8
36[-1]	7,6	689	70,7	58,4	6,8	0,2	328,2	19,1	66,5	33,5	0,3	20,6	0,0	41,7
37	7,8	1305	42,9	117,6	38,0	9,0	976,0	26,9	6,6	4,5	0,7	27,6	0,0	59,1
38[-1]	8,3	598	64,3	40,2	10,2	1,7	268,4	32,0	55,0	6,5	0,0		0,0	32,6
39[-1]	7,9	786	69,6	48,6	27,3	0,8	115,9	136,0	99,0	5,3	0,4		0,0	37,3

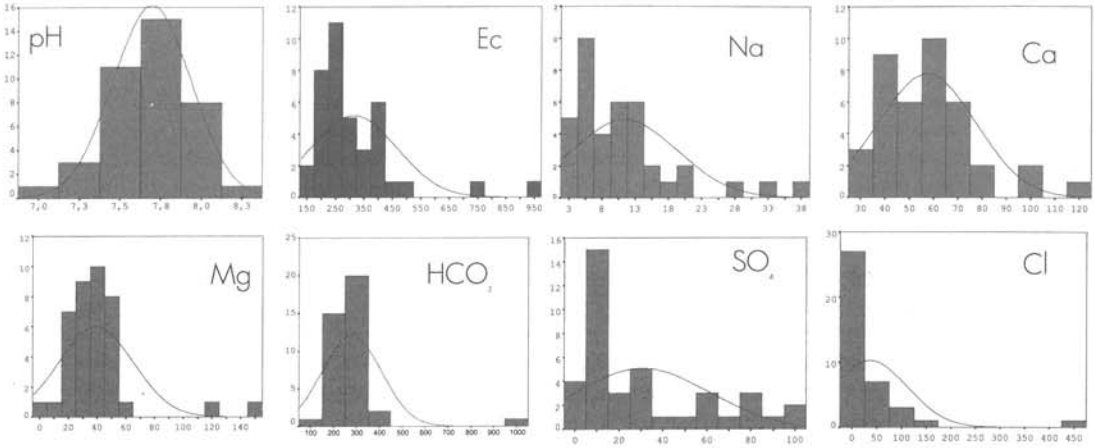
Οι κωδικοί με αστερίσκο δείχνουν ότι έγιναν και δεύτερες αναλύσεις σε διαφορετική περίοδο.Οι κωδικοί με δείκτη (1)δηλώνουν γεωτρήσεις στα νερά των οποίων έγιναν αναλύσεις για προσδιορισμό ιχνοστοιχείων.

3)Διευρυμένο διάγραμμα DUROV

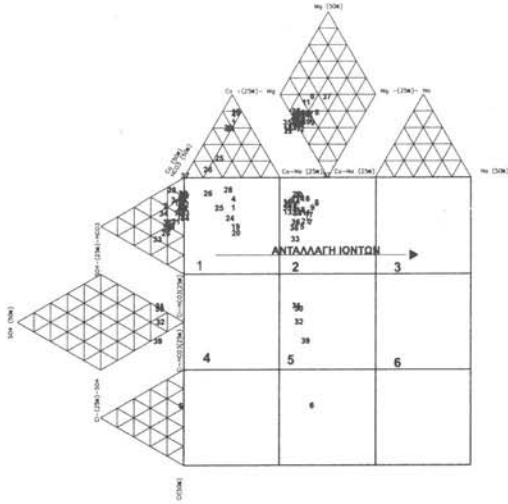
Το διευρυμένο διάγραμμα του Durov, αναπτύχθηκε από τον Lloyd(1965) για την απεικόνιση των υδροχημικών τύπων των υπόγειων νερών. Τα δείγματα των υπόγειων νερών στο διάγραμμα της Εικόνας 3 κατανέμονται κυρίως στις υποπεριοχές 1 και 2 και κατά δεύτερο λόγο στις υποπεριοχές 5 και 8

Στην υποπεριοχή 1 τα επικρατούντα ιόντα είναι ασβεστούχα οξυανθρακικά. Πρόκειται για νερά των ζωνών τροφοδοσίας εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφόρων. Τα υπόγεια νερά αυτά προέρχονται από τα περιθώρια της λεκάνης κυρίως στο Β-ΒΑ τμήμα (Κλείτος, κωδ.25, 26), Ακρινή (κωδ. 24) και στο δυτικό τμήμα της περιοχής Ποντοκώμης (κωδ. 19 και 20) και εν μέρει εκ της περιοχής Δρεπάνου στο νότιο τμήμα της. Η επικράτηση των ιόντων του ασβεστίου μπορεί να αποδοθεί στη διάλυση των ανθρακικών κροκαλοπαγών, λατυποπα-

γών, αμμοχάλικων και άλλων κοκκωδών υλικών ανθρακικής κυρίως σύστασης των κώνων κορημάτων που αναπτύσσονται στα περιθώρια της λεκάνης.



Εικόνα 2. Ιστόγραμμα συχνοτήτων στα κύρια στοιχεία των υπόγειων νερών
Figure 2. Histogram frequencies of major elements in the groundwater



Εικ. 3. Διευρυμένο διάγραμμα Durov-Piper
Fig.3 Expanded diagram Durov-Piper

Στην υποπεριοχή 2 όπου επικρατούν στην πλειονότητα τα περισσότερα δείγματα, έχουμε κυριαρχία των ιόντων Mg^{2+} και HCO_3^- που δύναται να φανερώνουν ανταλλαγή ιόντων με το Ca^{2+}. Καταλαμβάνουν το κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής από Μαυροδένδρι μέχρι τις περιοχές Δρεπάνου και Γαλανίου, πηγή του μαγνησίου για τα υπόγεια νερά της περιοχής αυτής θα πρέπει να αποτελούν κυρίως τα οφιολιθικά πετρώματα τα οποία αναπτύσσονται τόσο επιφανειακά όσο και υπογείως.

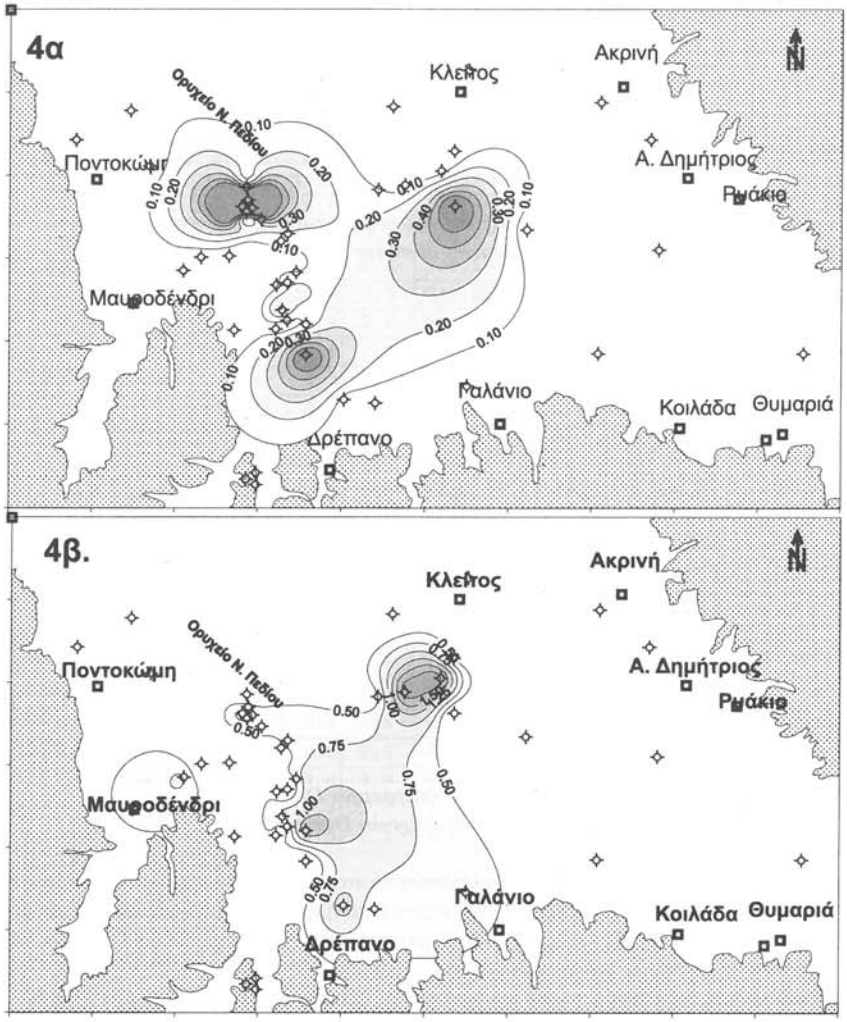
Στην υποπεριοχή 5 τα δείγματα νερού περιορισμένα σε αριθμό αποτελούν ξεχωριστή ομάδα και καταλαμβάνουν ανάπτυξη κατά μήκος των πρανών του λιγνιτωρυχείου του Ν. Πεδίου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων SO_4^- και Cl^- δεν πρέπει να δικαιολογούνται από την επίδραση των λιγνιτικών στρωμάτων που βρίσκονται σε επαφή με τα υδροφόρα στρώματα (Πανίλας, Καλλέργης 1997), αλλά κυρίως από την τροφοδοσία του ρέματος Σουλού που παρουσιάζει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις σε SO_4^- (Dimitrakopoulos et.al., 1991).

Ένα δείγμα στην υποπεριοχή 8 που χαρακτηρίζεται από υψηλή συγκέντρωση σε Cl^- αφορά το νερό της γεώτρησης (κωδ.6) που έχει ρυπανθεί από τα απόβλητα παρακείμενου τυροκομείου.

4) Καταλληλότητα νερού για ύδρευση

Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία των υπόγειων νερών της λεκάνης Σαριγκιόλ, εξετάζεται η καταλληλότητα αυτών από πλευράς ποσιμότητας.

Διαπιστώνεται ότι τα ιόντα του μαγνησίου στα περισσότερα δείγματα παρουσιάζονται αυξημένα και επομένως ως προς το ιόν αυτό η ποσιμότητα είναι μέτρια. Οι περιεκτικότητες σε αμμώνιο (NH_4) και νιτρώδη (NO_2) σε 16 από τα δείγματα που εξετάστηκαν ισούνται ή ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας (NH_4=0,5 mg/l, NO_2 = 0,1mg/l). Τα νερά αυτά εντοπίζονται στο κεντρικό και ΝΔ τμήμα της λεκάνης του Σαριγκιόλ, καθώς και στις γεωτρήσεις στράγγισης της Δ.Ε.Η πλησίον του Ν. Πεδίου. Στην Εικόνα 4α και 4β παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των συγκεντρώσεων σε νιτρώδη και αμμωνιακά που παρουσιάζουν τιμές πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας. Οι υψηλές συγκεντρώσεις στις περιοχές αυτές σχετίζονται κυρίως με την υπερλίπανση των εδαφών για την βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών σε συνδυασμό με αυξημένες υδραυλικές αγωγιμότητες του αβαθή υδροφόρου ορίζοντα.



Εικόνα 4α. Χάρτης κατανομής ίσων συγκεντρώσεων σε νιτρώδη (NO2). Εικόνα 4β. Χάρτης κατανομής ίσων συγκεντρώσεων σε αμμωνιακά (NH4). Οι σκιασμένες περιοχές δείχνουν τιμές πάνω από τα επιτρεπτά ανώτατα όρια ποσιμότητας.

Figure 4β. Areal distribution map of nitrate concentrations (NO2). Figure 4β. Spatial distribution map of ammonium concentrations (NH4). The shadowed area shows values above drinking water standards

Από τον προσδιορισμό των 16 ιχνοστοιχείων σε 26 δείγματα νερού (Πίνακας 2)διαπιστώνεται ότι σε μικρό αριθμό γεωτρήσεων οι συγκεντρώσεις σε Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cd^{2+}, Al^{3+}, Ba^{2+} και Cr βρίσκονται πάνω από τα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας, τα νερά των οποίων μάλιστα φέρουν ταυτόχρονα και το πρόβλημα με τα NO_2^- NO_3^- και NH_4^+. Στα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία οι συγκεντρώσεις δεν είναι ανιχνεύσιμες.

Με βάση τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι τα νερά των 28 γεωτρήσεων εκ του συνόλου των 45 στις οποίες έγιναν δειγματοληψίες, υπερβαίνουν τα ανώτατα αποδεκτά όρια ποσιμότητας σε συγκεντρώσεις ενός ή περισσοτέρων από τα ιόντα και ιχνοστοιχεία που δίνονται σ΄ αυτόν, Πίνακας 3 (αυτό συμβαίνει όπου σημειώνεται ο σταυρός) και επομένως χαρακτηρίζονται κατ΄ αρχήν μη πόσιμα χωρίς προηγούμενη επεξεργασία για βελτίωση τους με ανάμειξη νερών πολύ καλής ποιότητας .

Οι κύριες παρεμβάσεις επομένως που πρέπει να γίνουν άμεσα είναι η ελάττωση των λιπασμάτων, η μη ελεύθερη διάθεση των αποβλήτων (υγρών και στερεών) και η μείωση των ποσοτήτων νερών που διατίθενται για αρδεύσεις προκειμένου να υπάρξει ελάττωση "επιστροφών" από το νερό άρδευσης, που ως γνωστό επιβαρύνουν σημαντικά την ποιότητα των υπόγειων νερών στην κατεύθυνση αυτή. Επιπλέον θα πρέπει να αποφεύγεται η ανόρυξη γεωτρήσεων για υδρευτικές ανάγκες στα κατάντη των κοινοτήτων λόγω της χρήσης των απορροφητικών βόθρων που βρίσκονται στα ανάντη τμήματα αυτών.

Πίνακας 2: Αναλύσεις ιχνοστοιχείων (Περίοδος δειγματοληψίας Ιούλιος 1998)
Table 2: Chemical analyses results for minor elements (July 1998)

Ονομασία Γεώτρησης	Κωδ	Al^{+++} μg/l	Fe^{+++} μg/l	Mn^{++} μg/l	Cu^{++} μg/l	Zn^{++} μg/l	P μg/l	Ag μg/l	As3+ μg/l	Cd^{++} μg/l	Cr μg/l	Hg^{++} μg/l	Ni μg/l	Pb^{++} μg/l	B μg/l	Ba^{++} μg/l	F^- μg/l
Standard B.	3	<10	60	<2	<2	37	<100	<10	<20	<5	45,9	<5	<10	<20	21	14	110
Inter. B.	4	21	114	3,8	<2	12,3	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<50	<10	18	50
YKZ-3	7	85	335	54,3	<2	20,9	<100	<10	<20	<5	12,9	<5	<10	<20	<10	54	100
YKZ-4	8	59	105	8	22,5	14,6	<100	<10	<20	<5	29,5	<5	<10	<20	36	34	
Β.ΔΕΥΑΚ	9	25	114	50,4	14,8	20,9	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	26	59	100
Κοιν.Μαυρο.	14	16	82	<2	5,5	373	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	32	20	60
YKZ-5	16	58	166	5,1	<2	16,4	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	30	33	120
YKZ-1	17	31	135	11	<2	<10	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	25	47	
Κοιν.Ποντοκ	19	25	90	3,5	<2	18,7	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	<10	31	60
Κοιν.Ποντοκ	20	26	76	<2	<2	<10	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	34	33	50
YKZ-7	21	27	103	8	<2	20,8	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	20	51	100
Ομαδική	23	20	62	<2	3,7	13,9	<100	<10	<20	<5	56	<5	<10	<20	15	36	
ΥΝΠ 105	30	<10	34	4,5	<5	3,3		<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	33	48	140
ΥΝΠ 106	31	<10	41	10,7	<5	<2		<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	18	51	140
ΥΝΠ 108	32	<10	46	<8	<5	<2		<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	<10	50	180
ΥΝΠ 115	33	<10	26	4,5	<5	4,2		<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	<10	45	110
ΥΝΠ 117	34	44	312	31	<5	545		<5	<20	20	<5	<5	<5	<5	<20	28	130
Ευσταθιάδης	36	<10	75	<2	<2	260	<100	<10	<20	<5	<20	<5	40	<50	17	18	
ΥΝΠ 89	38	<10	16,2	4,6	<5	8,9	240	<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	<10	28	100
ΥΝΠ 107	39	<10	20,6	<2	<5	5,9	460	<5	<20	<5	<5	<5	<5	<20	<10	46	250
Ελευθεριάδη	40	36	80	<2	<2	32,5	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	16	17	70
Καζαντζίδης	41	<10	91	<2	<2	80	<100	<10	<20	<5	66	<5	<10	<20	28	28	50
Βαρυτιμίδης	42	446	2650	60,7	30,8	74,5	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	15	45	100
ΥΠΟ	43	27	7350	32	25,7	173	310	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	16	107	150
YKZ-6	44	29	115	18,9	<2	51,5	<100	<10	<20	<5	<10	<5	<10	<20	30	57	40
YKZ-2	45	24	77	<2	<2	<10	<100	<10	<20	<5	29	<5	<10	<20	<10	19	

Πίνακας 3. Υπέρβαση ανωτάτων ορίων ποσιμότητας
Table 3. Values above drinking water standards

Κωδικ.	Αρ.Μητρώου Γεώτρ	Mg	Fe^{3+}	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	Mn^{++}	Al^{+3}	Cd^{+2}	Cr	Ba^{2+}	Χρήσεις νερού
5	90 (ΥΚΖ_6)			+		+						Γεώτρηση Ύδρ. Κοζάνης
7	159 (ΥΚΖ_3)		+	+		+	+					>>
17	319 (ΥΚΖ_1)			+		+						>>
21	399 (ΥΚΖ_7)			+								>>
43	81 (ΥΠΟ)		+			+					+	>>
9	161 (ή Β ή 810)		+	+		+	+					>>
19	394				+							Γεώτρ. Ύδρ.Ποντοκώμης
20	395				+	+						>>
18	352	+		+								Αντλ/σιο Δρέπανου
24	381		+									Αντλ/σιο Ακρινής
35	50			+								Κοινοτ. Μαυροδενδρίου
37	368	+		+								Αντλ/σιο Γαλάνης
10	261					+						Ιδιωτική Γεωτρ
1	34			+								Γεώρηση Ιδιωτική
6	130	+										Ιδιωτική Γεωτρ
11	266		+	+								Ιδιωτική Γεωτρ
12	270			+								Ιδιωτική Γεωτρ
23	53		+							+		Ιδιωτική Γεωτρ
26	71 (Ρ3)		+									Ιδιωτική Γεωτρ
30	425 (ΥΝΠ 105)			+		+						Γεωτρήσεις ΔΕΗ
31	426 (ΥΝΠ 106)			+		+						>>
32	428 (ΥΝΠ 108)			+		+						>>
33	430 (ΥΝΠ 115)			+		+						>>
34	437 (ΥΝΠ 117)		+	+		+			+			>>
38	422 (ΥΝΠ 89)					+						>>
39	427 (ΥΝΠ 107)					+						>>
41	8									+		Ιδιωτική Γεωτρ
42	284		+			+	+	+				Ιδιωτική Γεωτρ

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία υπόγειου νερού, διαπιστώνεται ότι ο ανώτερος υδροφόρος ορίζοντας έχει υποστεί σημαντική ποιοτική υποβάθμιση των νερών του που οφείλεται κυρίως σε ανθρωπογενείς δράσεις, λόγω υπερλιπάνσεων, χρήσης φυτοφαρμάκων, διάθεσης αποβλήτων και επιβάλλεται η λήψη άμεσων μέτρων.

Η υψηλή φόρτιση του σε NO_3^- θα πρέπει να αποδοθεί εκτός από τις δράσεις των ΄΄πηγών΄΄ αζώτου που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους και στη χρήση απορροφητικών βόθρων στις κοινότητες που βρίσκονται προς τα περιθώρια της λεκάνης. Άμεσα μέτρα προστασίας θα πρέπει να ληφθούν στις γεωτρήσεις ύδρευσης που βρίσκονται στα κατάντη αυτών των περιοχών.

Η καταλληλότητα των υπόγειων νερών για τις υδρευτικές ανάγκες είναι σε πολλές περιπτώσεις πολύ κακή δεδομένου ότι είναι επιβαρυμένα ιδιαίτερα στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας του Σαριγκιόλ, εξ΄ αιτίας της υψηλής συγκέντρωσης κυρίως σε αμμώνιο (NH_4) και νιτρώδη (NO_2). Από τα 45 δείγματα που εξετάστηκαν από ισάριθμες γεωτρήσεις, διαπιστώθηκε ότι σε 28 γεωτρήσεις τα νερά τους έχουν υπερβεί την ανώτατη τιμή καταλληλότητας για πόση σε μια ή περισσότερες από τις παραμέτρους και επομένως για την χρήση τους πρέπει να ληφθούν μέτρα βελτίωση της ποιότητας.

Η ανάλυση σε 16 ιχνοστοιχεία έδειξε ότι μόνο οι συγκεντρώσεις σε Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cd^{2+}, Al^{3+}, Ba^{2+} και Cr βρίσκονται σε λίγα δείγματα πάνω από τα επιτρεπτά όρια ποσιμότητας ενώ τα υπόλοιπα ιχνοστοιχεία δεν είναι ανιχνεύσιμα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τους χημικούς και τεχνικούς της Δ.Ε.Η που έκαναν τις χημικές αναλύσεις καθώς και τις αρμόδιες Διευθύνσεις της Δ.Ε.Η ευχαριστούμε θερμά από την θέση αυτή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

DIMITRAKOPOULOS D., LOULOUDIS G., KOUMANTAKIS J., (1991). Environmental impacts in relation to the Ground water mines of P.P.C Greece. 4th International Mineral Water Association Congress, Ljubljana (Slovenia)-Portschach (Austria), September 1991 pp. 243-254

ΔΗΜΗΤΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Δ., ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι., & ΗΛΙΑΔΗΣ Ζ., (1996). Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Περίπτωση Νοτίου Πεδίου Πτολεμαϊδας. Συνέδριο Τ.Ε.Ε, Τμήμα Κεντρ. & Δυτ. Θεσσαλίας, Λάρισα.

DIMITRAKOPOULOS D., KOUMANTAKIS I., POUTIOS G., & HELIADIS (1998). Development of a groundwater management system and methods of artificial recharges in area with open pit exploitations. Case of South Field Open Pit, West Macedonia, Greece. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, 1998 Balkema.

DIMITRAKOPOULOS D., GRIGORAKOU E., & KOUMANTAKIS I., (2000). Ground water modeling of the South lignite field, West Macedonia, Greece. 7th Int. Mine Water Association Congress, Mine water and the Environment. Ustron Poland 2000 pp.519-529

ΠΑΝΙΛΑΣ Σ., ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Κ., ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ι., (2000). Ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων και μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού σε περιοχές υπαίθριων λιγνιτικών εκμεταλλεύσεων. Πιλοτική εφαρμογή στο ορυχείο του νότιου πεδίου του λιγνιτικού πεδίου Πτολεμαϊδας - Αμυνταίου και σύνδεση με την ευρύτερη περιοχή Κοζάνης- Πτολεμαϊδας. Τεύχος 4 Υδροχημεία. Έκθεση αδημοσίευτη ΓΓΕΤ.

ΛΟΥΛΟΥΔΗΣ Γ., (1991). Υδρογεωλογικές συνθήκες Νότιου Λιγνιτοφόρου πεδίου Πτολεμαϊδας. Προβλήματα υπόγειων νερών και αντιμετώπιση τους κατά την εκμετάλλευση. Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π Αθήνα 1991.

ΠΑΝΙΛΑΣ Σ., & ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ., (1997). Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και της υδροχημείας των υπόγειων νερών στο λιγνιτικό πεδίο της Δράμας. 4° Υδρογεωλογικό Συνέδριο Θεσ/νίκη 1997 σσ. 393-407.

ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ., (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαϊδας. Διδακτορική διατριβή Α.Π.Θ Θεσ/νίκη 1985.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1903-1911, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1903-1911, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΟΝ ΑΓ.ΚΗΡΥΚΟ ΝΗΣΟΥ ΙΚΑΡΙΑΣ. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΙΑΜΑΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ*

Β. ΠΕΡΛΕΡΟΣ[1], Ε. ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΥ[2], Α. ΒΑΛΑΔΑΚΗ-ΠΛΕΣΣΑ[3], Α. ΑΡΒΑΝΙΤΗΣ[4], Α. ΑΛΑΤΖΑΚΗ[5]

ΣΥΝΟΨΗ

Η εργασία έχει ως αντικείμενο την παρουσίαση της μεθοδολογίας και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής του Αγ. Κηρύκου Ικαρίας που προορίζεται για οικιστική ανάπτυξη, κυρίως για την εκτίμηση της έκτασης του προβλήματος της κατολισθαίνουσας περιοχής και της ενδεχόμενης ρύπανσης των θερμομεταλλικών πηγών της Ικαρίας. Με βάση τα συμπεράσματα της έρευνας διατυπώθηκαν προτάσεις που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σε ένα ολοκληρωμένο σχεδιασμό, για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος και για μια βιώσιμη οικιστική ανάπτυξη στην περιοχή.

ABSTRACT

The paper presents the methodology and the conclusions that occurred from the investigation of the geological setting of the area of Ag. Kirikos on Ikaria island. The area is to be developed for residential use. The modern ideas on sustainable development imposed the need for the assessment of the problems, which could be caused by natural destructive phenomena, as well as for suggestions for the protection of the built environment and the natural resources that exist in the area under development.

The main problems that were known and had to be investigated involved the landslide phenomena that effect the village of Ag. Kirikos and the flood hazards that occur from the activity of the streams that flow through the area. In the framework of the investigation, the geological and hydrogeological setting of the thermo-mineral springs, which are of international importance and are found at the village of Ag. Kirikos and in its the area adjacent, was examined. The geological and hydrogeological investigation was done to detect possible effects and contamination by processes occurring on the ground surface near the springs and in the wider area. Protection measures for the springs were proposed to ensure that the activities of urban development will not affect the springs.

The wider area that was investigated consists mainly of metamorphic and semi-metamorphic rocks, but also an extensive biotitic-granodiorite intrusion is found. The three units referred above are covered in places by Pleio-Pleistocene stream deposits, as well as scree and talus cones.

Minor aquifers are formed locally in the scree, the talus cones and in the weathering mantle of the gneiss and phyllites. These minor aquifers are not connected to the thermomineral aquifer.

Along the coast thermo-mineral groundwater is encountered, through springs, the most important of which are: Asklipeios, Therma Leykadas and Analipsi.

The area was divided in different zones, based on the results of the investigation. The zones referring to the protection of the area from natural destructive phenomena are shown in Figure II. The zones referring to the protection of the thermo-mineral springs are shown in Figure III.

The proposals for the prevention of problems caused by flooding suggest the restriction of building at a zone 10m wide at both sides of the stream beds. For the area of the landslide it was proposed that the investigation has to be continued and until then a series of measures were proposed involving limited residential building. Control

* GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL RESEARCH OF AG. KIRIKOS ON IKARIA ISLAND. SUGGESTIONS FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT – PROTECTION OF THE ENVIRONMENT OF THE BUILT-UP AREA AND THE THERMO-MINERAL SPRINGS (SPAS).

1. 56, Dionysou Str, Athens, Greece.
2. 4, Aisxylou Str, Drafi, Athens, Greece.
3. Ministry for Environment, Physical Planning and Public Works. 36, Trikalon Str.
4. 31 Meandroupoleos Str, Athens, Greece.
5. Ministry for Environment, Physical Planning and Public Works. 17, Amaliados Str, Athens, Greece.

measures were also proposed for the area of Fokianeika because of the risk of possible landslides.

For the protection of the thermo-mineral springs, three protection zones were proposed (Zone A, B and C). The determination of the zones occured by the evaluation of the hydrogeological and environmental data.

KEY WORDS: Physical Planning, Urban Planning, Hydrogeology, Sustainable development, Thermo-Mineral Springs, Landslide, Ag. Kirikos, Ikaria, Protection Zone.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Χωροταξία, Πολεοδόμηση, Υδρογεωλογία, Βιώσιμη ανάπτυξη, Θερμομεταλλικές πηγές, Κατολισθήσεις, Αγ. Κήρυκος, Ικαρία, Ζώνη προστασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2 Αντικείμενο και μεθοδολογία

Η εργασία έχει ως αντικείμενο την παρουσίαση της μεθοδολογίας και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη διερεύνηση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής του Αγ. Κηρύκου Ικαρίας που προορίζεται για οικιστική ανάπτυξη. Ένα τμήμα της ερευνηθείσας έκτασης είναι εντός σχεδίου, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα πρόκειται να πολεοδομηθεί στο άμεσο μέλλον.(Πατέλης Ι. κα 1997) Η σύγχρονη αντίληψη για βιώσιμη ανάπτυξη επέβαλαν την διερεύνηση προβλημάτων που μπορεί να προκληθούν από φυσικά καταστροφικά φαινόμενα, καθώς επίσης και τη διατύπωση προτάσεων για την προστασία του δομημένου περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων που διαθέτει η προς ανάπτυξη περιοχή.(Περλέρος Β. κα 2000)

Τα κυριότερα προβλήματα που ήταν γνωστά και έπρεπε να ερευνηθούν αφορούσαν στα κατολισθητικά φαινόμενα του οικισμού και στον κίνδυνο πλημμύρας από τα ρέματα που διασχίζουν την περιοχή. Επίσης, επειδή στον οικισμό και πλησίον αυτού συναντώνται οι θερμομεταλλικές και ιαματικές πηγές, στα πλαίσια της έρευνας εξετάσθηκαν οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης τροφοδοσίας της κάθε πηγής, ο μηχανισμός λειτουργίας τους, καθώς και η επίδραση της μελλοντικής πολεοδόμησης στη θερμομεταλλική υδροφορία και στους υδροφόρους ορίζοντες της λεκάνης τροφοδοσίας. Επίσης εξετάσθηκε ο χημισμός των θερμομεταλλικών νερών για τον εντοπισμό τυχόν επιδράσεων και ρυπάνσεων από διεργασίες στην επιφάνεια του εδάφους και προτάθηκαν μέτρα προστασίας των ιαματικών νερών από τις διεργασίες της αστικής ανάπτυξης.

Στα παραπάνω πλαίσια έγιναν οι εξής εργασίες:

i. Αξιολόγηση και επεξεργασία των προγενεστέρων μελετών και στοιχείων.
ii. Γεωλογική χαρτογράφηση της ευρύτερης και της προς πολεοδόμηση περιοχής σε κλίμακες 1:5.000 και 1:2.000, αντίστοιχα.
iii. Απογραφή των σημείων εμφάνισης ύδατος και μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και χημική ανάλυση δειγμάτων νερού από επιλεγμένα σημεία ύδατος.
iv. Στα πλαίσια της έρευνας πραγματοποιήθηκαν επίσης γεωτρητικές εργασίες με τη διάνοιξη τριών ερευνητικών γεωτρήσεων(Γ1, Γ2, Γ3), ανάντη των θερμομεταλλικών πηγών, στις θέσεις που παρουσιάζονται στο Σχ.ΙΙ

2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ – ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η προς οικιστική ανάπτυξη περιοχή βρίσκεται στο νότιο τμήμα της νήσου Ικαρίας, αναπτύσσεται στις νότιες απολήξεις του όρους Αιθέρας και περιλαμβάνει τους οικισμούς γύρω από το Αγ. Κήρυκο.

Στην περιοχή προβάλουν μέσα από τις σύγχρονες αποθέσεις των αναβαθμίδων και των κώνων κορημάτων μικροί λόφοι (π.χ. Σπηλάρια, Πρ.Ηλίας). Μεταξύ των λόφων αυτών αναπτύσσονται ρέματα με αρκετά πλατιές κοίτες πριν την έξοδο τους στη θάλασσα και διαμορφωμένη κοίτη μορφής U.

Υπάρχει επίσης εκτεταμένη θαλάσσια αναβαθμίδα (επιφάνεια ισοπέδωσης στη περιοχή μεταξύ Αγ. Κήρυκου - Λευκάδια) σε υψόμετρα μεταξύ 20-80μ., γεγονός που υποδηλώνει μια έντονα ανοδική κίνηση της χέρσου σε σχέση με τη θάλασσα.

Στην προς πολεοδόμηση έκταση και στις παρυφές αυτής έχουν παρουσιαστεί *φαινόμενα κατολισθήσεων* και καταπτώσεων που οφείλονται κυρίως στη γεωλογική δομή και στην υποσκαφή των ακτών από τα θαλάσσια κύματα.

Η περιοχή που ερευνήθηκε αποτελείται κυρίως, όπως φαίνεται και στο σχήμα (Fig. I), από μεταμορφωμένα και ημιμεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία σύμφωνα με τη στρωματογραφική διάθρωση κατά Κ.Κτενά (1969) ανήκουν στην κατώτερη μεταμορφωμένη ενότητα της Ικαρίας που περιλαμβάνει γνεύσιους και μάρμαρα και στην ενδιάμεση ημιμεταμορφωμένη ενότητα της Μεσαριάς που περιλαμβάνει σχιστόλιθους, φυλλίτες και μάρμαρα. Επίσης συναντάται εκτεταμένη διείσδυση του βιοτιτικού γρανοδιορίτη του Ξυλοσύρτη.(Παπανι-

κολάου Δ. 1978, Στουρνάρας Γ. 1986) Τις τρείς ανωτέρω ενότητες καλύπτουν κατά θέσεις Πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις αναβαθμίδων με υλικά κροκαλών, άμμων, αργίλων και χαλικιών με μεγάλη συμμετοχή κατά θέσεις ογκολίθων γρανοδιορίτη, καθώς και πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων.

Στη περιοχή έρευνας παρατηρούνται δύο συστήματα ρηγμάτων ένα παράλληλο προς τις ακτές και ένα κάθετο προς αυτές με ανάστροφα ρήγματα. Η ύπαρξη των συστημάτων αυτών των ρηγμάτων σε συνδυασμό με τις πλουτώνιες διεισδύσεις στην ευρύτερη περιοχή αποτελούν τον καθοριστικό παράγοντα για την εμφάνιση και λειτουργία των *θερμομεταλλικών πηγών* της περιοχή.

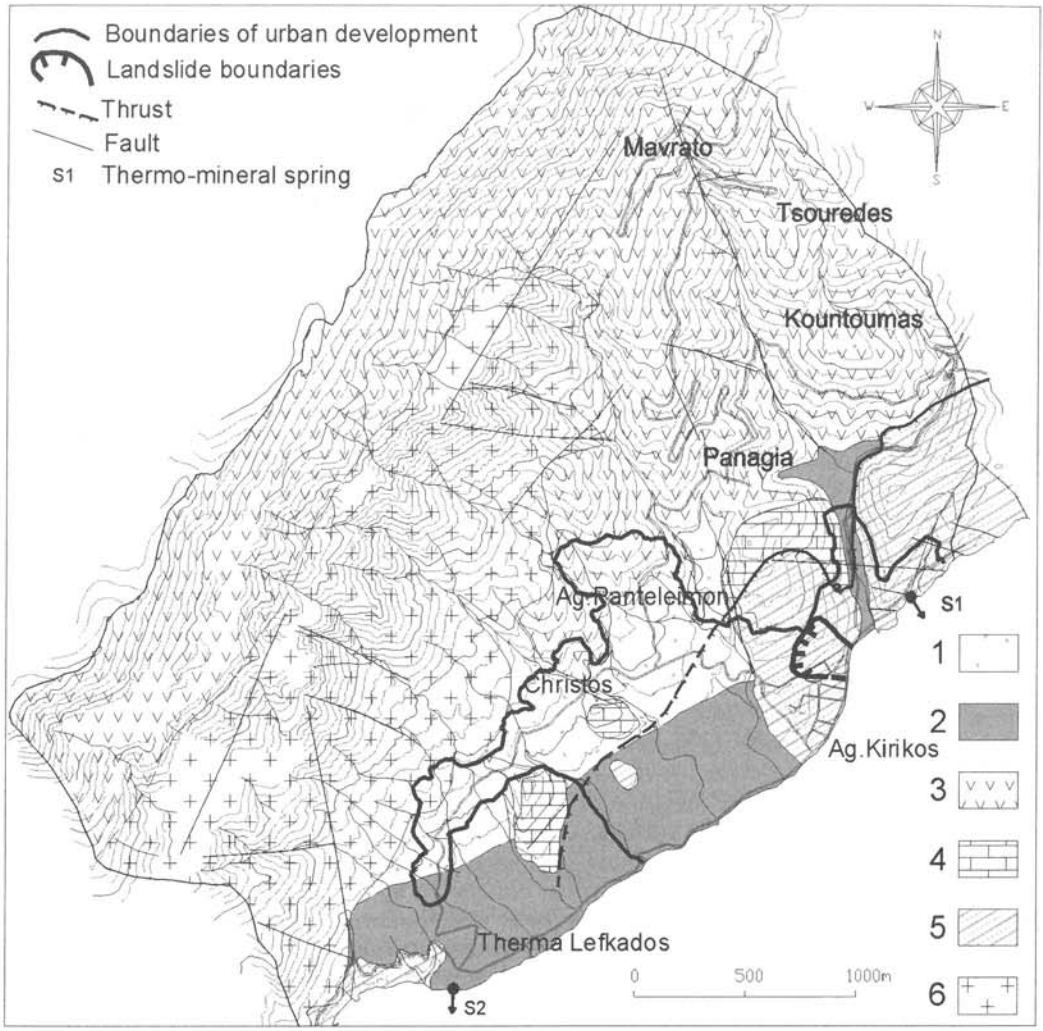


Fig 1. Geological Map of the urban development area, Ag Kirikos, Ikaria.
1: Scree and talus cones, 2: Marine terrace materials, 3: Gneiss, 4: Marble, 5: Alternating beds of marbles and phyllites, 6: Granodiorite

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Υδροφορία αναπτύσσεται στα πλευρικά κορήματα, τους κώνους κορημάτων και στο μανδύα αποσάθρωσης των γνευσίων και φυλλιτών και είναι τοπικής σημασίας. Η υδροφορία αυτή εκφορτίζεται μέσω μικρών διάσπαρτων πηγών στις κοίτες των ρεμάτων.(Κισκύρας Δ. 1965, Περλέρος Β. κα 2000)

3.1 Η Θερμομεταλλική υδροφορία

Κατά μήκος της ακτής εκδηλώνεται *θερμομεταλλική υδροφορία*, με την εμφάνιση πηγών. Οι πηγές αυτέ είναι ανερχόμενες από τη θάλασσα και εμφανίζονται στην επιφάνεια μέσα από ρηξιγενείς ζώνες. Πρόκειτα για παράκτιες πηγές διατεταγμένες στις νότιες ακτές της Ικαρίας κατά μήκος μεγάλου τεκτονικού βυθίσματο διεύθυνσης Α-Δ.(Δωρικός Στ. 1984, Ορφανός κα 1983)

Η θερμοκρασία τους κυμαίνεται από 35-58 ^{0}C και το σημαντικό φυσικοχημικό χαρακτηριστικό τους είναι ραδιενέργεια. Τα υπόγεια νερά κατά τη διαδρομή τους έρχονται σε επαφή με τα ραδιενεργά ορυκτά του γρο νοδιορίτη (καθώς και φλέβες, κοίτες γρανοδιορίτη) και αποκτούν ραδιενεργές ιδιότητες.

Στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται τρεις κύριες θερμομεταλλικές πηγές: *Πηγή Ασκληπείου* στο ανατολικ άκρο του οικισμού του Αγ. Κήρυκου, *Πηγή Θέρμων Λευκάδας* βρίσκεται περίπου 2 km δυτικά του Αγ. Κήρυ κου, *Πηγή Ανάληψης* βρίσκεται στην ανατολική περιοχή του οικισμού Φωκιανέϊκα.

Κατά θέσεις επίσης, εντός του οικισμού, έχουν αναφερθεί εμφανίσεις θερμομεταλλικού νερού κατά τι εκσκαφές θεμελίωσης, οι οποίες δεν έχουν ερευνηθεί ως προς το δυναμικό τους.

3.2 Υδροχημεία υπόγειων νερών

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και χημικές αναλύσεις τόσο από την ασθενή υδροφορία του μανδύ αποσάθρωσης των γνευσίων και των φυλλιτών όπως και από τις θερμομεταλλικές πηγές. Από τις χημικές ανα λύσεις που έγιναν προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Θερμομεταλλικές πηγές

Οι θερμομεταλλικές πηγές Ασκληπείου, Λευκάδος και Ανάληψης όπως επίσης και η γέωτρηση Γ3, που κατα σκευάσθηκε στα πλαίσια της έρευνας εντός του οικισμού εμφανίζουν εντελώς διαφορετικό χημισμό απ αυτόν που χαρακτηρίζει τα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας. Από αυτό συμπεραίνεται ότι θα πρέπει ν συνδέονται άμεσα με την κυκλοφορία υδροθερμικών διαλυμάτων και σε καμία περίπτωση δε σχετίζοντα με τη λοιπή υδροφορία η οποία εμφανίζει σε γενικές γραμμές τον αναμενόμενο χημισμό υπογείων νερών Και για τις τρείς πηγές θεωρείται οτι ο χημισμός και άρα οι μηχανισμοί εξέλιξης της υδροφορίας είνα κοινοί, άρα πρόκειται στην πράξη για την ίδια υδροφορία η οποία απλώς εκτονώνεται σε διαφορετικ σημεία.

Οι πηγές αυτές χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις διαλελυμένων ιόντων και από ση μαντικές περιεκτικότητες σε ιόντα όπως το στρόντιο και το λίθιο τα οποία είναι χαρακτηριστικά της λιθολογία της περιοχής (γρανίτες - γρανοδιορίτες) και αποτελούν ένδειξη ύπαρξης ποσότητας ραδιενέργειας στην υδρο φορία. Επίσης παρατηρήθηκε αυξημένη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και σε θειϊκά ιόντα, γεγονός πο συνηγορεί στο ότι η υδροφορία των πηγών συνδέεται άμεσα με μεικτή θειούχο μεταλλοφορία, η οποία ανα πτύσσεται συχνά σε γειτονικές ζώνες πλουτώνιων διεισδύσεων. Οι συγκεντρώσεις διαλελυμένου οξυγόνο είναι σχετικά χαμηλές δείχνοντας ότι δεν πρόκειται για νερό που προέρχεται από ζώνες τροφοδοσίας πλησίο των περιοχών ανάβλυσης. Επίσης σημαντικό στοιχείο αποτελεί η πολύ υψηλή συγκέντρωση σε ιόντα χλωρίο και νατρίου και δευτερευόντως σε ιόντα καλίου. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις εκτιμάται ότι οφείλοντα στην ανάμιξη του νερού των πηγών με θαλάσσιο νερό.

- Ασθενής υδροφορία κοκκωδών σχηματισμών και αποσαθρωμένων και αδιαπερατών σχηματισμών.

Οι αναλύσεις πηγαδιών, πηγών και γεωτρήσεων έδειξαν ότι πρόκειται μάλλον για υδροφορίες ενιαίω χαρακτηριστικών, δηλαδή για υδροφόρους ορίζοντες ανεξάρτητους που όμως λιθολογικά και εξελικτικ παρουσιάζουν ομοιότητες. Τα χαρακτηριστικά που αναγνωρίζονται στα νερά αυτά είναι οι σχετικά αυξη μένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων που όμως δεν ξεπερνούν τα όρια και πρέπει να είναι το αποτέλε σμα διαλυτοποίησης των σχηματισμών που δομούν τους υδροφόρους ορίζοντες. Παρατηρείται εξάλλο σχετικά ανεβασμένη συγκέντρωση χλωριόντων, χαρακτηριστικό υπόγειων υδροφοριών του νησιωτικού Ελ λαδικού χώρου, που θα πρέπει να αποδωθεί στην λιθολογία της περιοχής, στην εγγύτητα με τη θάλασσ (σταγονίδια θάλασσας κατεισδύοντα με την βροχόπτωση, ή/και θαλάσσια διείσδυση στις θέσεις που γειτο νεύουν με τη θάλασσα). Πολλά δείγματα παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κα TDS.

Στα δείγματα ορισμένων φρεάτων παρατηρήθηκαν επίσης σχετικά υψηλές έως πολύ υψηλές συγκεντρώ σεις νιτρικών ιόντων που πρέπει να οφείλονται σε ανθρωπογενή ρύπανση.

3.3 Σχέσεις μεταξύ των επιμέρους υδροφοριών

Από τα αποτελέσματα των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν (απογραφή, στάθμες, χημικές αναλύσεις) δεν τεκμηριώνεται άμεση σχέση μεταξύ της θερμομεταλλικής υδροφορίας και των επιμέρους ασθενών υδρο

φόρων οριζόντων της περιοχής του Αγ. Κήρυκου.

Α) Στην περίπτωση των πηγών Ασκληπειού και Ανάληψης Μεσακτής ανάντη αυτών αναπτύσσονται εναλλαγές μαρμάρων φυλλιτών-σχιστολίθων με ομόρροπες κλίσεις στρωμάτων προς τη θάλασσα. Οι παρεμβολές των φυλλιτών εντός των μαρμάρων διακόπτουν την σε βάθος κίνηση των υπογείων νερών και τα οδηγεί στην επιφάνεια προς τη θάλασσα σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με την γεωμετρία της διεπιφάνειας μαρμάρων φυλλιτών.

Είναι πιθανόν τμήμα του κατεισδύοντος νερού μέσω των ρηγμάτων να διαπερνά τις φυλλιτικές παρεμβολές και να καταλήγει σε βάθος κάτω από το επίπεδο της θάλασσας να θερμαίνεται, να αναμιγνύεται με το θερμομεταλλικό νερό και να εξέρχεται στην πηγή. Οι παροχές των πηγών είναι σχετικά μικρές ώστε οι ποσότητες που προέρχονται από την ασθενή καρστική υδροφορία και ενισχύουν την θερμομεταλλική υδροφορία να είναι μη αξιόλογες.

Β) Στα Θέρμα Λευκάδος η θερμομεταλλική πηγή εξέρχεται από τους φυλλίτες και σχιστολίθους. Στο μέτωπο εκφόρτισης στην ακτογραμμή τα στρώματα αυτά διακρίνονται στη βάση των σύγχρονων αποθέσεων της θαλάσσιας αναβαθμίδας. Η αποστράγγιση της ασθενούς υδροφορίας των σύγχρονων αποθέσεων γίνεται με κίνηση προς τη θάλασσα σε ένα ευρύ μέτωπο. Κατά την εκφόρτισή της στην περιοχή των πηγών είναι πιθανή η ανάμειξη με τα νερά της πηγής. Πρόκειται λοιπόν για δύο ανεξάρτητες υδροφορίες που πιθανώς να αναμιγνύονται εν μέρει στην έξοδο τους.

4. Η ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΟΥ ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΥ

Στη βιβλιογραφία, ήδη από τη δεκαετία του '30, αναφέρεται ότι μικρές ρωγμές αναπτύσσονται στα εδάφη και τις κατασκευές του οικισμού στην ευρύτερη περιοχή του Αγ. Κηρύκου. Στις αρχές της δεκαετίας του '70 οι μετακινήσεις των εδαφών έλαβαν μεγαλύτερες διαστάσεις και οι επιπτώσεις επί των κτισμάτων του οικισμού ήσαν δυσμενέστερες. Εκπονήθηκαν τότε ειδικότερες τεχνικογεωλογικές μελέτες που αποσκοπούσαν, αφ'ενός μεν στη διερεύνηση και την ακριβή αποτύπωση των φαινομένων αυτών, αφ'ετέρου δε, στη διατύπωση προτάσεων πρόληψης και θεραπείας τους. (Ελευθερίου Α. 1969, Καραγεωργίου Ε. 1971-72, Ρόζος Δ. 1979-1986, Σαμπατακάκης Ν.1991)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών, ο μηχανισμός γένεσης των κατολισθητικών φαινομένων αποδίδεται στην γεωλογική δομή της περιοχής. Οι εναλλαγές των τεκτονικώς καταπονημένων και καρστικοποιημένων μαρμάρων και των φυλλιτών, δηλαδή ενός υδροπερατού και ενός αδιαπέρατου γεωλογικού σχηματισμού, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η στρωματογραφική κλίση τους είναι ομόρροπη και σχεδόν ομότιμη με την κλίση της μορφολογίας του αναγλύφου, δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την εκδήλωση των φαινομένων αυτών. Πράγματι, το μετεωρικό ή όποιας άλλης προέλευσης νερό διηθούμενο στη μάζα των μαρμάρων δημιουργεί στην επαφή τους με τους υποκείμενους φυλλίτες επιφάνεια ολίσθησης, έτσι ώστε να διευκολύνεται η σχετική μετακίνηση τεμαχών τους κατά τη συνιστώσα της βαρύτητας.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα έχουν πλέον περιοριστεί σημαντικά, λόγω της κατασκευής του αποχετευτικού δικτύου της πόλης και της κατασκευής των νέων λιμενικών εγκαταστάσεων στον πόδα της κατολισθαίνουσας περιοχής, γεγονός που λειτουργεί, εκ των πραγμάτων, ως αντίβαρο των μαζών που έχουν κινητοποιηθεί.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Με βάση τα συμπεράσματα της έρευνας που παρουσιάσθηκε παραπάνω στην προς οικιστική ανάπτυξη περιοχή διακρίθηκαν τμήματα όπου έγιναν συγκεκριμένες προτάσεις που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν κατά την πολεοδόμηση.(Περλέρος Β. κα 2000) Οι προτάσεις που αφορούν στην προστασία της περιοχής από φυσικά καταστροφικά φαινόμενα παρουσιάζονται στο σχήμα (Fig. II). Οι προτάσεις που αφορούν στην προστασία των ιαματικών πηγών παρουσιάζονται στο σχήμα (Fig. III). Συγκεκριμένα:

Α) Για την αποφυγή προβλημάτων πλημμύρας συστήνεται να μην δομηθούν οι ζώνες πλάτους 10μ. εκατέρωθεν της κοίτης των ρεμάτων.

Β) Για την περιοχή της κατολίσθησης προτείνεται η έρευνα να συνεχισθεί με δίκτυο εδαφοτεχνικών γεωτρήσεων, προκειμένου να χαρτογραφηθεί λεπτομερειακώς η επιφάνεια ολίσθησης. Θα πρέπει να εγκατασταθούν κλισιόμετρα και πιεζόμετρα, για την παρακολούθηση της κινητικότητας της κατολισθαίνουσας μάζας και της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού.

Μέχρι να υλοποιηθεί η παραπάνω πρόταση, επειδή η επί πλέον φόρτιση του εδάφους από νέες οικοδομές σε συνδυασμό με τους παράγοντες που αναπτύχθηκαν παραπάνω είναι πιθανόν να επαναδραστηριοποιήσουν κατολισθητικά φαινόμενα, προτείνεται οι υπάρχοντες χώροι πρασίνου να διευρυνθούν και να αξιοποιηθούν ως χώροι κοινόχρηστου πρασίνου.

Γ) Στην περιοχή των Φωκιανεϊκων η γεωλογία, η τεκτονική της περιοχής, η ενέργεια των κυματισμών και οι φόρτισεις από τις νέες οικοδομές δημιουργούν τις προϋποθέσεις για μελλοντικές ολισθήσεις. Προτείνεται εδαφοτεχνική έρευνα για τον ακριβή προσδιορισμό της γεωμετρίας των πιθανών ασθενών ζωνών αστοχίας.

Δ) Για την προστασία των ιαματικών πηγών προτείνεται να ισχύσουν επιπρόσθετα τα παρακάτω μέτρα που θα πρέπει να εφαρμοσθούν σε τρείς ζώνες οι οποίες προέκυψαν από τη συνεκτίμηση των υδρογεωλογικών και περιβαλλοντικών δεδομένων. Επισημαίνεται ότι δεν υπάρχουν ενιαία για όλη την Ευρώπη, καθορισμένα νομικά κριτήρια οριοθέτησης ζωνών προστασίας ανάντη πηγών ή υδροληπτικών έργων, ενώ είναι γενικώς αποδεκτός, σε πολλές χώρες, ο καθορισμός τριών ζωνών προστασίας Α, Β και C.(Καλλέργης Γ. 1986, Matthess P.G. at al 1985)

i. Ζώνη Α, άμεσης προστασίας, που ορίζεται σε ακτίνα 30μ από τις αναβλύσεις των πηγών. Στη ζώνη αυτή, που προστασταεύει το άμεσο περιβάλλον της πηγής, θα πρέπει να απαγορεύεται κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα και χαρακτηρίζεται ως ζώνη πλήρους απαγόρευσης. Τα νομίμως υφιστάμενα κτίσματα στις ζώνες αυτές πρέπει να συνδεθούν με δίκτυο αποχέτευσης, να κατασκευαστεί δίκτυο απομάκρυνσης των νερών της βροχής και να ληφθεί μέριμνα για την αποτροπή πιθανών μολύνσεων.

ii. Ζώνη Β, βιολογικής προστασίας 50 ημερών, που ορίζεται όπως σημειώνεται στον Χάρτη Ζωνών Προστασίας Ιαματικών Πηγών, με βάσει τα εξής κριτήρια:

Η μέση διαπερατότητα με βάση τις μετρήσεις στη γεώτρηση Γ2 στην περιοχή Λευκάδια υπολογίζεται ότι είναι $2,43*10^{-4}$m/sec. Η περατότητα αυτή είναι αρκετά υψηλή για το είδος των σχηματισμών αλλά μπορεί να συνδέεται με κάποιες ζώνες χαλαρών υλικών, κροκάλες, άμμοι, χαλίκια που προέρχονται από τον ανάντη γρανοδιορίτη. Με τη διαπερατότητα αυτή ορίζεται η ζώνη προστασίας Β σε ακτίνα 1000μ. περί την πηγή Λευκάδια.

Ανάντη της πηγής Ασκληπείου αναπτύσσονται εναλλαγές μαρμάρων - φυλλιτών με κλίσεις προς τη θάλασσα. Οι παρεμβολές των φυλλιτών μειώνουν την κατακόρυφη διαπερατότητα και οδηγούν τα υπόγεια νερά προς τη θάλασσα. Η ύπαρξη όμως των ρηγμάτων είναι πιθανόν να αναμειγνύουν μερικώς την ασθενή καρστική υδροφορία με την αντίστοιχη θερμομεταλλική πριν την έξοδο της στην πηγή ή στο χώρο της πηγής. Για το λόγο αυτό στη ζώνη Β περιλαμβάνονται οι λόφοι ανάντη της πηγής Ασκληπείου όπου αναπτύσσονται και καρστικοί σχηματισμοί έντονα διερρηγμένοι.

Η ζώνη Β προστατεύει το υπόγειο νερό από μικροβιολογική κυρίως ρύπανση, και προτείνεται: α) να επιτραπούν μόνο ήπιες ανθρώπινες δραστηριότητες με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται η προστασία της ασθενούς υδροφορίας. Είναι επίσης απαραίτητη η κατασκευή αποχετευτικού δικτύου όπου δεν υπάρχει. β) να επιτρέπονται μόνο οικολογικές καλλιέργειες. Θα πρέπει επίσης να τεθούν μια σειρά απαγορεύσεις στις χρήσεις γης, όπως είναι η απαγόρευση εγκατάστασης και λειτουργίας πρατηρίων υγρών καυσίμων, κοιμητηρίων, λατομείων, συνεργείων αυτοκινήτων, βοσκής και σταυλισμού ζώων, μεταλλευτικής δραστηριότητας, κα.

iii. Ζώνη C, χημικής προστασίας, που ορίζεται από τον υδροκρίτη των λεκανών που εκβάλλουν κοντά στις πηγές. Η ζώνη αυτή προστατεύει τις πηγές από μεταφορά χημικής φύσεως ρυπογόνων ουσιών μέσω των ρεμάτων που στη συνέχεια μέσω διηθήσεων στα κατάντη κοντά στις ζώνες των πηγών μπορούν να κινηθούν υπόγεια προς τις εξόδους αυτών. Στη ζώνη αυτή θα πρέπει επίσης οι χρήσεις γης να περιλάβουν ορισμένες απαγορεύσεις, όπως είναι η εγκατάσταση χώρων υγειονομικής ταφής απορριμάτων, χημικών και μεταλλουργικών εργοστασίων, βυρσοδεψίων, μεγάλων κτηνοτροφικών μονάδων, κοιμητηρίων.

Τέλος, επίσης επισημαίνεται ο κίνδυνος ρύπανσης των θερμομεταλλικών πηγών από πιθανή ρύπανση της θάλασσας με απόβλητα ή πετρελαιοκηλίδες, ορυκτέλαια κλπ. Ο κίνδυνος αυτός είναι μεγαλύτερος όταν πνέουν οι νότιοι άνεμοι και επικρατεί νηνεμία, οπότε θα μπορούσε να προκληθεί ρύπανση, τόσο από τη διάθεση ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον, όσο και από πιθανή χημική ρύπανση.

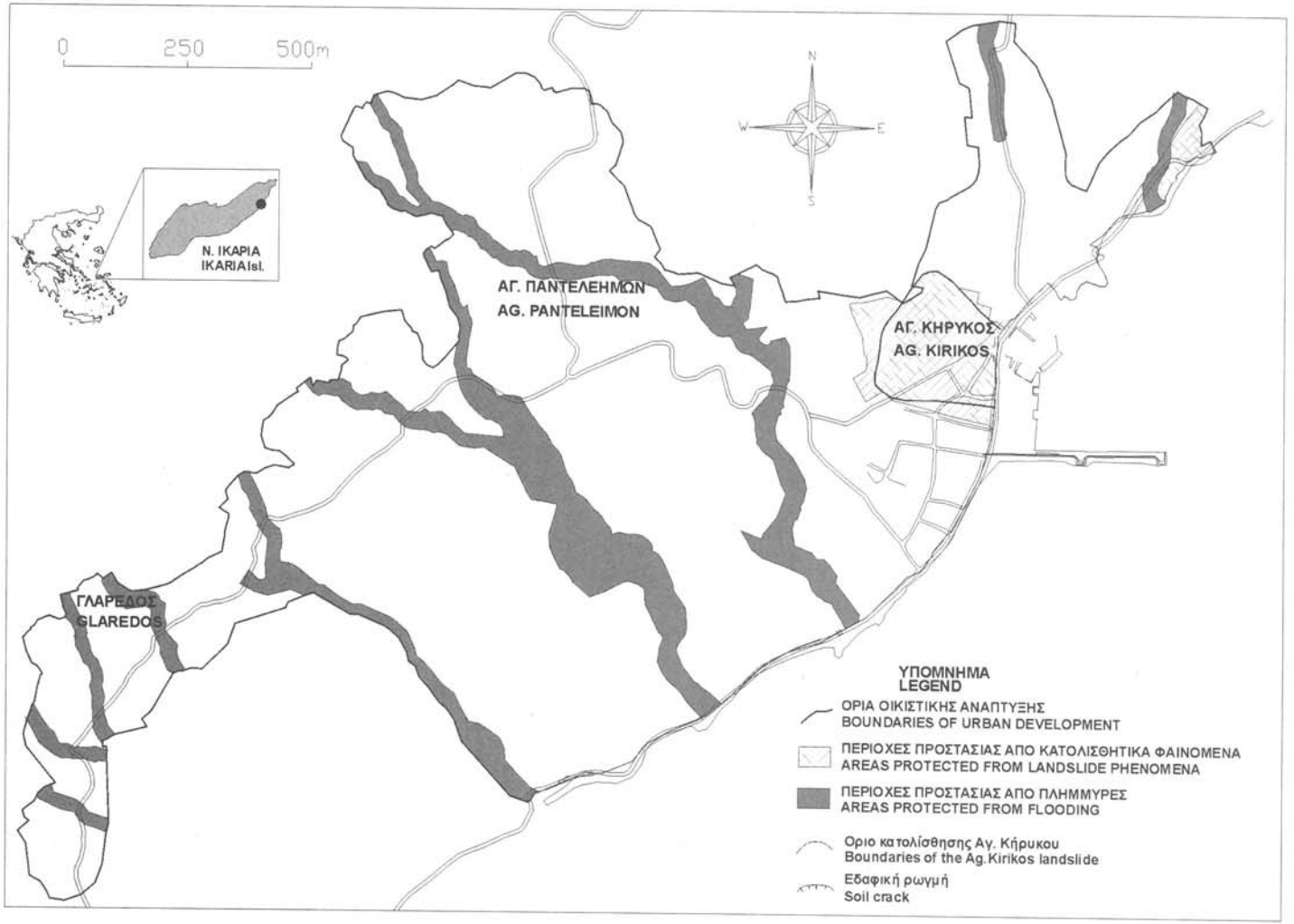


Fig 2. Χάρτης Ζωνών Προστασίας περιοχής οικιστικής ανάπτυξης από φυσικούς κινδύνους
Protection Zone Map from natural hazards for the area under urban development

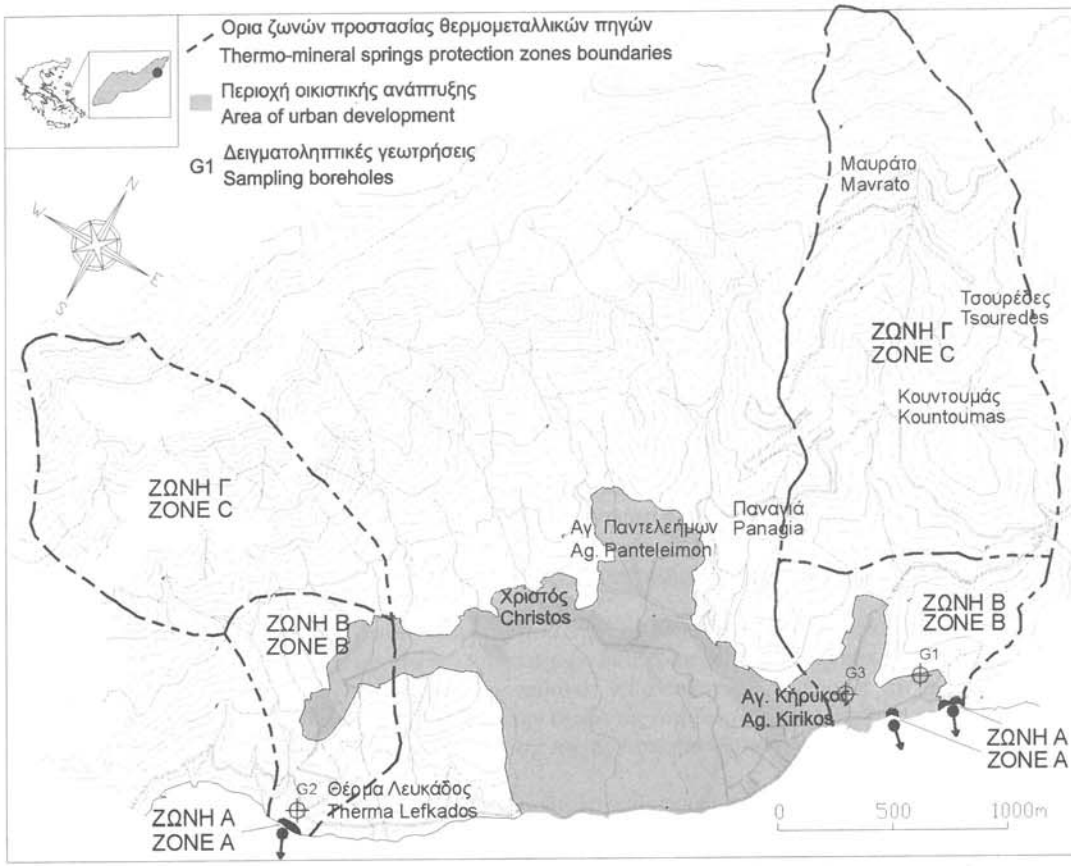


Fig. 3. Χάρτης Ζωνών Προστασίας θερμομεταλλικών πηγών.
Protection Zone Map for thermo-mineral springs

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΡΥΝΗΣ Γ., 1964. Συμπληρωματική έκθεση επί της Ύδρευσης του Αγ. Κηρύκου, Ικαρία (ΙΓΕΥ).

ΒΡΥΥΝΗΣ Δ., 1990. Αναγνωριστική γεωχημική έρευνα νήσου Ικαρίας (ΙΓΜΕ).

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ Δ., 1989. Υδρογεωλογική έρευνα για τον καθορισμό των ζωνών προστασίας των υδροφόρων οριζόντων Λουτρακίου (ΙΓΜΕ).

ΔΩΡΙΚΟΣ ΣΤ., 1984. Θερμομεταλλικές πηγές της Χώρας. Υπ.Εν.και Φυσ.Πόρων. Αθήνα.

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ Α., 1969. Γεωτεχνική αναγνώριση στιν οικισμό Αγ. Κηρύκου Ικαρίας (ΙΓΕΥ). Αθήνα.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ., 1986. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Εκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.

ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΟΥ Ε., 1971. Η κατολίσθηση του Αγ. Κήρυκου της νήσου Ικαρίας (ΙΓΕΥ).

ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΟΥ Ε., 1972. Γεωτεχνική Μελέτη της κατολισθήσεως του εδάφους στον οικοδομήσιμο χώρο Αγ. Κήρυκου της Ν.Ικαρίας του Ν.Σάμου ΙΓΕΥ).

ΚΙΣΚΥΡΑΣ Δ., 1965. Υδρογεωλογική μελέτη αφορώσα την ύδρευσιν του Δήμου Αγ. Κήρυκου Ικαρίας, Ν.Σάμου. Αθήνα.

ΚΤΕΝΑΣ Κ., 1969. Γεωλογία της Νήσου Ικαρίας. Εκδοση Ι.Γ.Ε.Υ. γεωλογικαί και γεωφυσικαι μελέται No2.

ΜΑΡΙΝΟΣ Π., ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΣΤΟΥΡΝΑΡΑ Γ., 1973. Η θερμομεταλλική πηγή Υπατής. An.Gd.P.H. XXV Αθήνα.

MATTHESS P.G., FOSTER S.S.D., SKINNER A.CH., 1985. Theoretical Background Hydrogeology and Practice of Groundwater Protection Zones. UNESCO, IAH, Vol6, Heise.

ΟΡΦΑΝΟΥ Γ., ΣΦΕΤΣΟΥ Κ., ΓΚΙΥΝΗ Γ., 1983 Απογραφή θερμομεταλλικών πηγών Ελλάδας. Αιγαίο Πέλαγος, Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές έρευνες πργ. 39 (ΙΓΜΕ).

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. 1978. Συμβολή εις την γεωλογίαν της νήσου Ικαρίας (Αιγαίον Πέλαγος). AGPH, XXIX/1,1-28

ΠΑΤΕΛΗΣ Ι., ΠΑΤΕΛΗΣ Ν., ΚΟΚΚΙΝΟΣ Β., Α66-Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Αντωνακάκη & ΣΙΑ, Ανδρεάδης Γ., Γραφείο μελετών Μ.Ζαρκαδούλας & Συνεργάτες. 1997. Πολεοδόμηση περιοχής Αγ. Κήρυκου, Ν. Σάμου – Παραλιακός οικισμός – Ειδική Σύμβαση. Πολεοδομική Μελέτη Α' Φάση (ΥΠΕΧΩΔΕ).

ΠΕΡΛΕΡΟΣ Β., ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ Β., ΠΑΠΑΓΡΗΓΟΡΙΟΥ ΣΠ., 2000. Μελέτη των υδρογεωλογικών συνθηκών των ιαματικών πηγών Αγ. Κηρύκου. – Πρόταση όρων προστασίας τους από την πολεοδόμηση. – Τεχνικογεωλογική διερεύνηση των κατολισθητικών φαινομένων στον Αγ. Κήρυκο, ν.Ικαρίας, Ν. Σάμου. (ΥΠΕΧΩΔΕ)

ΡΟΖΟΣ Δ., 1979. Γεωτεχνική αναγνώριση για τις συνθήκες ασφάλειας βραχώδους μάζας στον οικισμό Θέρμα – Αγ. Κήρυκου Ικαρίας Ν.Σάμου. (ΙΓΜΕ).

ΡΟΖΟΣ Δ., 1983. Γεωτεχνική Αναγνώριση των κατολισθητικών φαινομένων στο Δήμο Αγ. Κηρύκου Ικαρίας Ν.Σάμου. (ΙΓΜΕ).

ΡΟΖΟΣ Δ., ΓΚΙΝΗ Γ., 1986. Γεωτεχνική – Υδρογεωλογική αναγνώριση της περιοχής Αγ. Κηρύκου – Θέρμων Ικαρίας Ν.Σάμου (ΙΓΜΕ).

ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ Ν., 1985. Τεχνική έκθεση αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας στο Λιμάνι του Αγ. Κηρύκου Ικαρίας. (ΥΔΕ ΚΕΔΕ)

ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ Γ., 1986. Ο γνευσιακός γρανίτης της Ικαρίας και το πλαίσιο της Γεωτεχνικής συμπεριφοράς. Μεταλλειολογικά – Μεταλλούργικα χρονικά, Νο61/1986.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1913-1922, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1913-1922, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΔΥΟ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΗ ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ*

Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ[1], Σ. ΠΑΝΙΛΑΣ[2], Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ[1], Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή υπολογίζονται και σχολιάζονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και S σε δύο υπόγειους υδροφορείς που δημιουργήθηκαν ο ένας σε περιβάλλον διακλαδιζόμενου ποταμού(υπό πίεση υδροφόρος) στο Ν. Ροδόπης (ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα) και ο άλλος σε λιμναίο (ελεύθερος υδροφόρος) στη λεκάνη Δράμας. Οι τιμές της ειδικής απόδοσης στον υδροφορέα του Ν. Ροδόπης κυμαίνονται από 0.28 έως 33.3 $m^3/h/m$ και στον υδροφορέα της Δράμας από 1.2 έως 10 $m^3/h/m$. Οι τιμές των T και S, προσδιορίστηκαν από τα δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων, χρησιμοποιώντας τρία προγράμματα H/Y, το *SATEM* που βασίζεται στην τροποποιημένη από τους Cooper and Jacob μέθοδο του Theis, και τα *ANALYSE* και *THEISFIT* που βασίζονται στην εξίσωση του Theis. Στο Ν. Ροδόπης η *T* κυμαίνεται από 99 έως 8613 m^2/day και ο S από $1.098'10^{-5}$ έως $9.935'10^{-3}$. Στη Δράμα η T κυμαίνεται από 95 έως 492 m^2/day και ο S από $1.4'10^{-3}$ έως $4'10^{-4}$. Οι τιμές T και s που έδωσαν τα 2 πρώτα προγράμματα στο Ν. Ροδόπης σχεδόν ταυτίζονται ενώ στη λεκάνη της Δράμας παρουσιάζουν σημαντικότατες αποκλίσεις που αποδίδονται στο διαφορετικό περιβάλλον ιζηματογένεσης και στα επιμέρους χαρακτηριστικά του.

SUMMARY

In this work, the hydraulic parameter values of two aquifer systems are estimated and discussed. One of the two aquifer systems is located in the coastal area of Rhodope Prefecture between Lakes Vistonis and Ismaris and the other in Drama basin. The Rhodope aquifer system is formed within paleo-alluvial deposits of Upper Miocene age of a braided river. The aquifer system of Drama basin is formed within lacustrine deposits of Quaternary age. Aquifer material in both systems derived from the same source of parent material, namely, the crystalline mass of Rhodope. Coarse-grained deposits consisted of sands and gravels predominate in Rhodope aquifer system. Braided river deposits appear to be the most coarse-grained ones in relation to any other type of alluvial depositional environment. The heterogeneity of the hydraulic properties controls the small scale varieties of groundwater velosities. Only fine-grained deposits can be recognized in Drama basin aquifer system. The lacustrine deposits are characterized by an upward-coarsening sequence and a simple offshore decrease in grain size. An abrupt transition from alluvial fan environment to offshore lacustrine facies is observed in the southern part of Drama basin. A high potential confined aquifer is formed in Rhodope area with a thickness up to 90 m and consists of one, two and usually three distinct beds which are in hydraulic communication. This aquifer system displays a variety of transmissivity values only in a small scale. Generally a narrow field of fluctuation concerning the transmissivity values is observed in this area. Based on data from 217 wells (mean depth 136 m) the specific yield values range from 0.28 to 33.3 $m^3/h/m$. The respective values of specific yield for the Drama aquifer system ranges from 1.2 to 10 $m^3/h/m$. The values of storage coefficient s, transmissivity T and hydraulic conductivity k have been determined through the evaluation of a considerable number (36) of pumping tests. One or more piezometers were used in all of the pumping tests. In order to determine the hydraulic parameter the following computer programs were used: 1. SATEM, 2. ANALYZE and 3. THEISFIT. SATEM is based on the Jacob's modification of the Theis method; meanwhile the other two are based on Theis equation. THEISFIT program make use of a statistical approach. In Rhodope aquifer system, T ranges from 99 to 8613 m^2/day, with a mean value of 35 m^2/day, k ranges from 16 to 176 m/day, with a mean value of 35 m/day and storage coefficient s ranges from $1.098x10^{-5}$ to $9.935x10^{-3}$, with a mean value of $2.3x10^{-3}$. In Drama aquifer system

* ESTIMATION AND EVALUATION OF HYDRAULIC PARAMETERS OF TWO AQUIFER SYSTEMS FORMED IN DIFFERENT SEDIMENTARY ENVIRONMENTS WITHIN THE RHODOPE MASS

1. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής
2. Δ.Ε.Η Δ/νση Λιγνιτικών Ερευνών, Κλιμάκιο εκτέλεσης Γεωερευνητικών Έργων, 66100 Δράμα

transmissivity ranges from 95 to 492 m^2/day, storage coefficient from $3x10^{-3}$ to $4X10^{-4}$. The values of T and s in the Rhodope system as determined by using SATEM and ANALYZE are almost identical, meanwhile the respective values determined by using THEISFIT differ considerably from the previous ones. In Drama aquifer system values of transmissivity and storage coefficient as determined by using the three computer programs display potential differences among them. The different values can be attributed to the environment of deposition of aquifers material(e.g characteristics of geometry, aquifer type, lithological and facies patterns, and size distribution of aquifer material). The small scale heterogeneity in Rhodope aquifer system does not affect the large scale values of transmissivity and storage coefficient and the aquifer behaves like an almost homogeneous medium. The Drama aquifer system is characterized by large scale vertical heterogeneity which affects seriously the range of transmissivity and storage coefficient values as determined by using different methods. In the last occasion, it became apparent that often it is extremely difficult to have reliable estimates of the hydraulic parameter values, whenever classical methods based on theoretical curves are used. The accurate evaluation of the hydraulic parameters play an important role in constructing groundwater models (e.g. flow, mass transport or management models) simulating the behavior of groundwater systems.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδραυλικές παράμετροι, ιζηματογενές περιβάλλον, δοκιμαστικές αντλήσεις
KEY WORDS: hydraulic parameters, sedimentary environment, pumping tests

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πορώδες, η υδραυλική αγωγιμότητα και τα μέτρα ελαστικότητας είναι οι πιο θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες των πορωδών γεωλογικών υλικών για την εκτίμηση των σκελετικών παραμορφώσεων και των ρυθμών ροής στα πορώδη υλικά (Houston and Kasim, 1982). Γενικά οι ιδιότητες των πορωδών υλικών προσδιορίζονται από ολοκληρωμένα προγράμματα δοκιμών εργαστηρίου, δοκιμών πεδίου και επίλυση του αντιστρόφου προβλήματος μέσο μιας αριθμητικής μεθόδου ικανής να προσομοιώσει τις οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές πεδίου. Στην πράξη συνήθως προσεγγίζονται παράμετροι όπως η υδραυλική αγωγιμότητα k, η μεταβιβαστικότητα T και ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S. Η υδραυλική αγωγιμότητα k είναι μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες ενός πορώδους υλικού, επειδή ελέγχει το ρυθμό της κίνησης του νερού μέσω του υλικού και είναι για το λόγο αυτό θεμελιώδους σημασίας για την επίλυση των προβλημάτων ροής των ρευστών. Οι ευρείας κλίμακας δοκιμαστικές αντλήσεις με γεωτρήσεις παρατήρησης αποτελούν την πιο αποτελεσματική μέθοδο για την απόκτηση αξιόπιστων τιμών των υδραυλικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό. Το πλαίσιο για τη σωστή διενέργεια των δοκιμαστικών αντλήσεων και οι μέθοδοι αξιολόγησής τους δίνονται λεπτομερώς από τους Driscoll (1986) και Kruseman et. al. (1992). Στην εργασία αυτή υπολογίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι μέσο της εκτέλεσης δοκιμαστικών αντλήσεων με τη χρήση πιεζομέτρων σε δύο υδροφορείς που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικό

Σχήμα 1. Χάρτης με τις θέσεις των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων της Λεκάνης Δράμας και της παράκτιας περιοχής του Ν. Ροδόπης.

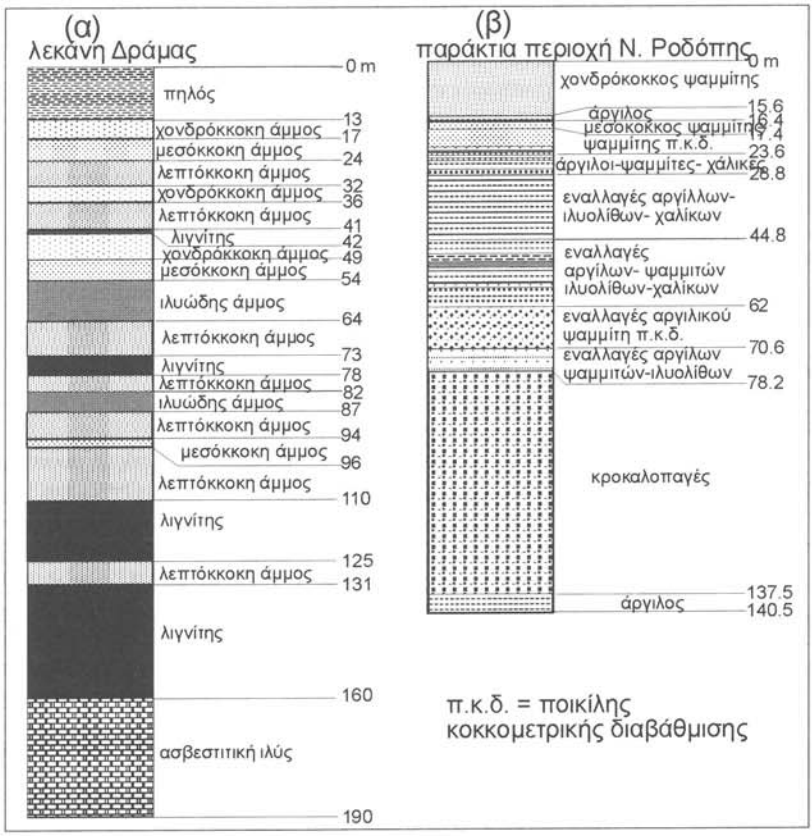
Figure 1. Map displaying the locations of the Drama aquifer system and coastal Rhodope aquifer system.

ιζηματογενές περιβάλλον με κοινή όμως πηγή προέλευσης του υλικού την ορεινή μάζα της Ροδόπης και που εντοπίζονται στο παράκτιο τμήμα Ν. Ροδόπης και στη λεκάνη Δράμας (σχήμα 1). Ο ορθός υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνταξη μοντέλων διαχείρισης και ιδιαίτερα στην καλύτερη προσομοίωση των υπόγειων φυσικών συστημάτων.

2. ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Παράκτιο τμήμα του Ν. Ροδόπης

Στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης, που βρίσκεται ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα, απαντούν σημαντικού πάχους αλλουβιακές αποθέσεις ανω-μειοκαινικής ηλικίας με σύσταση από χονδρόκοκκα υλικά, άμμους, χαλίκια και κροκάλες που αποτέθηκαν στο ιζηματογενές περιβάλλον ενός διακλαδιζόμενου τύπου ποταμού (braided river). Τα ιζηματογενές αυτό περιβάλλον περιγράφεται λεπτομερώς από τον Πεταλά (1997). Οι διακλαδιζόμενοι ποταμοί χαρακτηρίζονται από μια σειρά αβαθών και σημαντικού εύρους ποτάμιων κοιτών και φραγμών (bars). Το μέγεθος των αλλουβιακών υλικών μπορεί να είναι μεγαλύτερο των 20 cm σε διάμετρο, αλλά το μέσο μέγεθος κατανέμεται στο πεδίο των 2 έως 64 mm με ταξινόμηση που ποικίλει. Οι διακλαδιζόμενοι ποταμοί παρουσιάζουν (Miall, 1977) υψηλή τιμή της σχέσης εύρος/βάθος που ξεπερνά την τιμή 300, με απότομη επικλινή επιφάνεια και χαμηλές εγκολπώσεις, ενώ εμφανίζονται ταχέως μετατοπιζόμενες κοίτες και ενδοκοίτιοι φραγμοί. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι αποθέσεις τους είναι πιο χονδρόκοκκες από οποιονδήποτε άλλο ποτάμιο τύπο με κυριαρχία της άμμου και των κροκαλών. Η χαρακτηριστική ετερογένεια των υδραυλικών ιδιοτήτων ελέγχει κυρίως τη μικρής κλίμακας ποικιλία των ταχυτήτων του υπόγειου νερού μέσο των γεωλογικών υλικών. Στο περιβάλλον αυτό το κυλιόμενο φορτίο υλικών (bedload) είναι μεγαλύτερο



Σχήμα 2.(α) Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στη λεκάνη της Δράμας. (β). Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης.

Figure 2.(a) Representative well section from the Drama basin. (b). Representative well section from the Rhodope coastal area.

του 11% του συνόλου των ιζημάτων. Η απόθεση αλλουβιακών υλικών προκαλείται κυρίως από τη μείωση τη μεταφορικής ικανότητας, η οποία με τη σειρά της ελέγχεται από παράγοντες όπως η κλίση και το εύρος τοι υδατορρεύματος, η μείωση της ταχύτητας ροής και οι απώλειες της ροής μέσο διηθήσεων. Αντιπροσωπευτικι τομή γεώτρησης στο ιζηματογενές αυτό περιβάλλον αυτό δίνεται στο σχήμα 2β.

Πεδινό τμήμα λεκάνης Δράμας

Στη λεκάνη της Δράμας τα ρήγματα των κρασπέδων στα νότια περιθώρια της δημιουργούν κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο συνθήκες ευνοϊκές για την απόθεση λιμναίων ιζημάτων (ασβεστιτική ιλύς ή γκύτια-μακροσκοπικο και χωρίς ιστό λιμναίοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από οργανικά κατάλοιπα και συγκρίματα διαφόρων προελεύσεων (Μελιδώνης, 1966). Πρόκειται για ένα τυπικό λιμναίο περιβάλλον(Picard and High, Jr, 1981) τ οποίο αναπτύσσεται από το Μέσο Πλειόκαινο έως το Ολόκαινο. Η επεξεργασία των δεδομένων από σημαντικό αριθμό κοκκομετρικών αναλύσεων (Πανίλας και Καλλέργης, 1997)έδειξε μείωση του μεγέθους των υλικών από την περιφέρεια προς το κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπως και μια κατακόρυφη διαβάθμιση από λεπτόκοκκες προς πιο αδρόκοκκες φάσεις από κάτω προς τα πάνω. Η κατακόρυφη αυτή διάταξη των υλικών χαρακτηρίζε την ιδανική ακολουθία των λιμναίων αποθέσεων (Visher, 1965). Τα σημαντικού πάχους ιζήματα καλύπτουν όλο το ανάπτυγμα του πεδινού τμήματος.

Το λιμναίο περιβάλλον της περιοχής περιλαμβάνει κατά πάσα πιθανότητα περισσότερους από ένα κύκλους δημιουργίας και πλήρωσης της λίμνης. Επίσης μέρος από τα αδρομερέστερα υλικά στο ανώτερο στρώμα αναπαριστούν τη βαθμιαία μετάβαση σε ένα περιβάλλον ποτάμιου πεδίου καθώς η λίμνη πληρούται με υλικά. Το πρότυπο των φάσεων αλλάζει επαναλαμβανόμενα προκαλώντας ραγδαίες επαναδιευθετήσεις της κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στα περιθώρια της λίμνης (ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της λεκάνης και πλησίον των παρυφών του Παγγαίου και Μενοίκιου είναι χαρακτηριστική η απότομη μετάβαση από αμιγώς λιμναία σε αλλουβιακά ιζήματα σημαντικού πάχους(αλλουβιακά ριπίδια) εξαιτίας της μεγαλύτερης συνίζησης που επικράτησε στο τμήμα αυτό της λεκάνης. Οι δύο αυτοί τύποι ιζημάτων "συρράπτονται" πλευρικά. Η επικράτηση κατά το Μέσο Πλειστόκαινο τελματικών συνθηκών στη λεκάνη της Δράμας, ευνοεί το σχηματισμό οργανικών ιζημάτων (τύρφη-λιγνίτης) σ΄ όλο το ανάπτυγμα της και με πάχη που αυξάνονται βαθμιαία από τα δυτικά προς ανατολικά (έως 160 m), δημιουργώντας το λιγνιτικό κοίτασμα της Δράμας (Μπρουσούλης et.al 1991) και το κοίτασμα της τύρφης-λιγνίτη των Φιλίππων ανατολικότερα. Στους βορειοδυτικούς και κεντρικούς τομείς, όπου οι συνθήκες δεν ευνόησαν το σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του πάχους των λεπτομερών χαλαρών κλαστικών υλικών από μεσόκοκκες έως λεπτόκοκκες άμμους με συνδετικό ασβεστιτικό υλικό. Η διαδικασία της απόθεσης τους έλαβε χώρα σε ήρεμο περιβάλλον απόθεσης που δεν διαταράσσεται από κάποια τεκτονική δραστηριότητα καθόλη την περίοδο από το Μέσο Πλειστόκαινο έως το Ολόκαινο. Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στο ιζηματογενές αυτό περιβάλλον δίνεται στο σχήμα 2α.

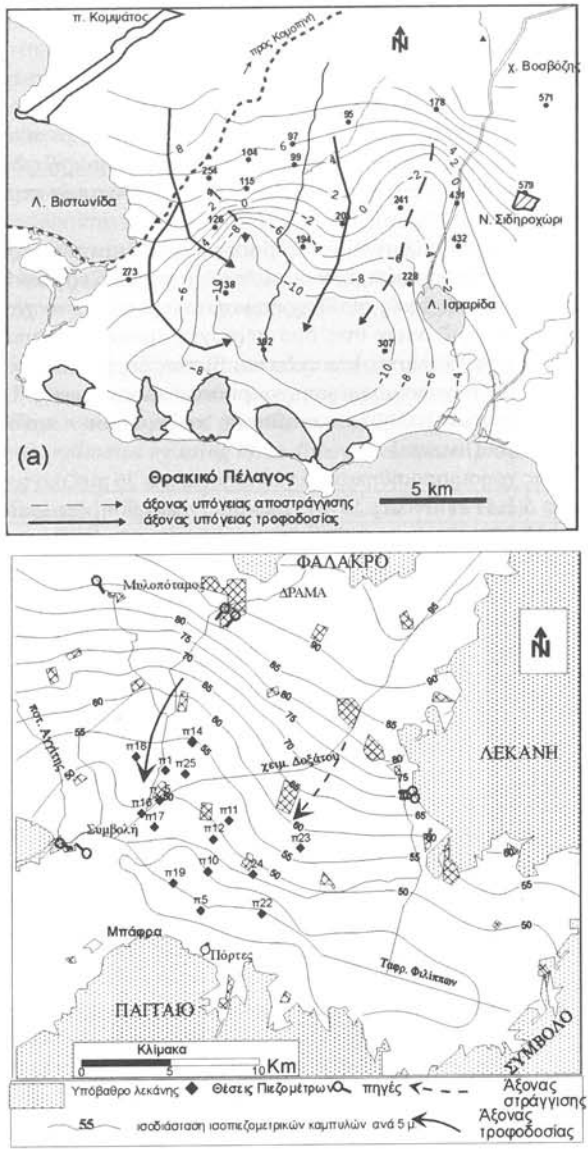
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υδροφορία των περιοχών

Λεπτομερής περιγραφή των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων για τις δύο περιοχές δίνεται από τους Πεταλά(1997), Πεταλά και Διαμαντή(1994,) Σταματάκη κ.ά. (1992), και Πανίλα (1998).

Παράκτιο τμήμα Ν. Ροδόπης

Η υδροφορία των χονδρόκοκκων υλικών μέσα στις αποθέσεις του τμήματος ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα φέρει "αποτυπωμένα" τα αποτελέσματα "ελέγχου" στα χαρακτηριστικά των υλικών που δομούν το υδροφόρο σύστημα και στην υδραυλική αγωγιμότητά τους του μοντέλου της απόθεσης του "διακλαδιζόμενου" ποταμού. Μέσα στα χονδρόκοκκα αυτά υλικά σχηματίζεται ένας πολύ σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση, ο οποίος στη βάση του αλλά και πλευρικά οριοθετείται από την παρουσία της μειοκαινικής γκριζοπράσινης αργίλου. Ο κύριος όγκος του αποτελείται από ένα και συνήθως δύο και τρία στρώματα σημαντικού πάχους και σε υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Σε μικρή κλίμακα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία στην υδραυλική αγωγιμότητα όπου ιδιαίτερο ρόλο παίζει η παρουσία διασταυρούμενων στρώσεων. Οι γεωτρήσεις διέτρησαν υδροφόρα στρώματα πάχους μέχρι και 90 m. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων 217 γεωτρήσεων (μέσου βάθους 136 m) έδωσε μέση ειδική απόδοση των γεωτρήσεων 6.3 m^3/h/m με πεδίο τιμών από 0.28 έως 33.3 m^3/h/m. Στο σχήμα 3α εμφανίζεται ο πιεζομετρικός χάρτης του έτους 1992 (31 Μαρτίου) που βασίζεται στα δεδομένα 80 γεωτρήσεων με τους κύριους άξονες αποστράγγισης και τροφοδοσίας. Ο χάρτης αυτός φανερώνει αξιόλογα υδραυλικά χαρακτηριστικά αλλά και ένα καθεστώς υπερεκμετάλλευσης με αρνητικές τιμές σε μεγάλο τμήμα της περιοχής.



Σχήμα 3.(α) Πιεζομετρικός χάρτης 31ης Μαρτίου 1992 του υπόγειου υδροφόρου συστήματος παράκτιας περιοχής Ν. Ροδόπης. (β) Πιεζομετρικός χάρτης του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της λεκάνης Δράμας. Figure 3.(a) Piezometric map of the Rhodope coastal aquifer system (March 1992). (b) Piezometric map of the quaternary aquifer system of the Drama basin.

Πεδινό λεκάνης Δράμας

Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης Δράμας που υπέρκειενται των αδιαπέρατων λιγνιτικών στρωμάτων αναπτύσσεται ένας εκτεταμένος ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας με μέγιστο πάχος τα 120 m. Η υδροφορία αναπτύσσεται μέσα σε μεσόκκοκα έως λεπτόκοκκα υλικά χαρακτηριστικό το ήρεμου περιβάλλοντος απόθεσης που έλαβε χώρα κατά το Τεταρτογενές. Η επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων (Πανίλας και Καλλέργης, 1997) έδωσε μικρή ειδική απόδοση των γεωτρήσεων (από 1.2 έως 4.9 $m^3/h/m$). Η τριχοτόμηση του υδροφορέα προς το νότιο τμήμα λόγω της παρεμβολής δυο μικρών λιγνιτικών στρώσεων δημιουργεί δυο υδροφόρους ορίζοντες περιορισμένης έκτασης σε συνθήκες μερικώς υπό πίεση. Ο πιεζομετρικός χάρτης(σχήμα 3β)που βασίζεται στα δεδομένα 94 γεωτρήσεων φανερώνει ότι ο υδροφόρος ορίζοντας παρουσιάζει ακτινωτή μορφή

με συγκλίνουσες και αποκλίνουσες γραμμές ροής και με αποστάσεις των ισοπιεζομετρικών καμπυλών να αυξάνουν προς τα χαμηλά τμήματα της πεδιάδας.

Η πλευρική τροφοδοσία των καρστικών νερών που συντελείται στο νότιο τμήμα της λεκάνης (παρυφές ορέων Παγγαίου και Μενοίκιου) μέσο των αλλουβιακών ριπιδίων, δημιουργούν σημαντική υδροφορία (5 έως 10 $m^3/h/m$) περιορισμένης όμως έκτασης λόγω της πλευρικής συρραφής με τα αδιαπέρατα λιγνιτικά στρώματα της πεδιάδας της Δράμας. Ο υδροφορέας στο τμήμα αυτό παρουσιάζει μικρή ειδική απόδοση από 0.7 έως 1.2 $m^3/h/m$ όταν μεταπίπτει σε αρτεσιανό εξαιτίας της παρουσίας των λιγνιτικών στρωμάτων.

Δοκιμαστικές αντλήσεις

Ο συντελεστής εναποθήκευσης S μαζί με τη μεταβιβαστικότητα T και την υδραυλική αγωγιμότητα k, είναι οι τρεις παράμετροι των οποίων προσδιορίστηκαν οι τιμές μέσο της επεξεργασίας δεδομένων από σημαντικό αριθμό δοκιμαστικών αντλήσεων. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό της υδραυλικής συμπεριφοράς των υδροφόρων οριζόντων στις δυο περιοχές έρευνας. Ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων για το τμήμα ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα, βασίσθηκε στην αξιοποίηση δεδομένων από 20 δοκιμαστικές αντλήσεις με τη χρησιμοποίηση γεωτρήσεων παρατήρησης. Τα πρωτογενή στοιχεία αυτών όπως παροχή άντλησης *Q*, διάρκεια άντλησης *t*, απόσταση πιεζομέτρου *r* καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους δίνονται στον Πίνακα 1.

Για τη λεκάνη της Δράμας χρησιμοποιήθηκαν 16 γεωτρήσεις και 36 πιεζόμετρα που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο προγράμματος της Δ.Ε.Η (Πανίλας 1998). Σε κάθε γεώτρηση κατασκευάστηκαν δυο έως τέσσερα δορυφορικά πιεζόμετρα. Η διάταξη των πιεζομέτρων και η απόστασή τους καθορίστηκε με βάση τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων. Η διάταξη των φιλτροσωλήνων και το βάθος των πιεζομέτρων ήταν ίδια με αυτή των γεωτρήσεων. Όλες οι γεωτρήσεις θεωρήθηκαν πλήρεις καθώς διαπέρασαν το στεγανό δάπεδο του υδροφορέα. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των αντλητικών δεδομένων δίνονται στον Πίνακα 2.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αντλήσεων των δυο περιοχών με τη χρήση πιεζόμετρων και τον υπολογισμό των παραμέτρων T και S χρησιμοποιήθηκαν τρία προγράμματα Η/Υ:

1. Το πρόγραμμα Η/Υ *SATEM* (Boonstra, 1994) και ιδιαίτερα η υπορουτίνα *JACOB* που βασίζεται στην τροποποιημένη από τους Cooper and Jacob (1946) μέθοδο του Theis (1935). Η ανάλυση με το πρόγραμμα JACOB βασίζεται μόνο στο ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης χρόνου/πτώσης στάθμης και η εφαρμογή του εξαρτάται από την παρουσία ή μη αυτού του ευθύγραμμου τμήματος. Η μέθοδος αυτή διέπεται από περιοριστικούς όρους όπως: α) η αντλούμενη γεώτρηση διαπερνά όλο το πάχος του υδροφορέα και β) ο χρόνος άντλησης είναι επαρκής ώστε ένα ευθύγραμμο τμήμα να είναι ορατό στην καμπύλη χρόνου/πτώσης στάθμης. Η όλη διαδικασία και οι υποθέσεις στις οποίες βασίζεται δίνονται αναλυτικά από τον Boonstra (1994) στο κεφάλαιο 4.
2. Το πρόγραμμα Η.Υ. *ANALYSE* (Clarke, 1988,) το οποίο βασίζεται στην εξίσωση του Theis (1935) και ο υπολογισμός των παραμέτρων γίνεται μέσω γραμμικής συσχέτισης του επιλεγμένου τμήματος του ημιλογαριθμικού διαγράμματος χρόνου/πτώσης στάθμης.
3. Η υπορουτίνα του *ANALYSE* Η/Υ *THEISFIT*, (McElwee, 1980) που επιτρέπει τον υπολογισμό των T και S με το μικρότερο δυνατό σφάλμα (root square error), στηριζόμενο στην καλύτερη σύμπτωση (fit) στατιστικά (μετά από συνεχείς επαναλήψεις) μιας καμπύλης τύπου Theis με το επιλεγμένο τμήμα της καμπύλης των πραγματικών μετρήσεων χρόνου/πτώσης στάθμης.

Τα δύο τελευταία προγράμματα παρέχουν τη δυνατότητα εξαίρεσης των εκτός των ορίων σημείων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των ανωτέρω προγραμμάτων εμφανίζονται στους Πίνακες 1 και 2. Συγκρίνοντας τις τιμές των T και S προκύπτουν τα παρακάτω:

1) Για την περιοχή μεταξύ των λιμνών Ισμαρίδα και Βιστωνίδα οι τιμές T και S από τα προγράμματα *JACOB* και *ANALYZE* σχεδόν ταυτίζονται ή είναι παραπλήσιες. Μια σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στις τιμές T και S που προέκυψαν από το πρόγραμμα *THEISFIT*. Οι τιμές του T είναι συνήθως μικρότερες απ' ότι στα δύο προηγούμενα προγράμματα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζεται και μια διαφοροποίηση ως προς την τάξη μεγέθους του S. Γενικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας αριθμός από αιτίες (Boonstra, 1989) συντελεί ώστε οι καμπύλες χρόνου-πτώσης στάθμης να αποκλίνουν από τις θεωρητικές. Η επαρκής γνώση επομένως των γεωλογικών συνθηκών στη θέση της δοκιμαστικής άντλησης είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή ανάλυση των πληροφοριών. Ειδικότερα στην περιοχή η T κυμαίνεται από 99 έως 8613 m^2/day, με μέση τιμή 1884 m^2/day. Η K κυμαίνεται από 16 έως 176 m/day, ενώ η μέση τιμή της είναι 35 m^2/day. Η υδροφορία της περιοχής χαρακτηρίζεται σύμφωνα με την ταξινόμηση του U.S. Bu-

reau of Reclamation (1977) από μεγάλη υδροπερατότητα (τιμές $10^{-5}<K<10^{-2}$). Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας T του υδροφόρου συστήματος είναι μεγαλύτερες της τιμής 0.015 m^2/sec και χαρακτηρίζουν σύμφωνα με τον Καλλέργη(1986) καλούς υδροφόρους που προσφέρονται για εκμετάλλευση. Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας S κυμαίνονται από 1.098×10^{-5} έως 9.935×10^{-3}, με μέση τιμή 2.3×10^{-3}. Δεδομένου ότι οι τυπικές τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας S είναι για τους υπό πίεση υδροφορείς (Driscoll, 1986) από 10^{-5} έως 10^{-3}, είναι φανερό ότι η υδροφορία εδώ όσον αφορά τον S χαρακτηρίζεται από τιμές που προσεγγίζουν τα ανώτερα όρια του πεδίου αυτού. Τα στοιχεία αυτά έρχονται να επιβεβαιώσουν τα συμπεράσματα που αναφέρονται στα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων της περιοχής και τα οποία προέκυψαν από τη μελέτη της υδροχημείας των υπόγειων νερών (χαρακτηριστική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του SiO_2),τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των υλικών που φιλοξενούν την υδροφορία και τις μακρόχρονες παρατηρήσεις της πορείας της πιεζομετρικής στάθμης (Πεταλάς, 1997).

Πίνακας 1. Τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και s στην παράκτια περιοχή του N. Ροδόπης μεταξύ των Λ. Ισμαρίδας και Βιστωνίδας που προέκυψαν με τη χρήση τριών προγραμμάτων H/Y.
Table 1. Values of hydraulic parameters T and S in the coastal Rhodope area between Lakes Vistonis and Ismaris, estimated by using three different computer programs.

Α/Γ	T_{Jacob}	T_{Theis}	$T_{Theis\text{-}Fit}$	S_{Jacob}	S_{Theis}	$S_{Theis\text{-}Fit}$	Q (m^3/day)	t (min)	r (m)	σφάλμα
P203	2411	2426	1746	$5*10^3$	$4.72*10^3$	$7.45*10^3$	1920	1980	349.3	0.004
P571	433	433	429	$9.8*10^4$	$1.184*10^3$	$1.03*10^3$	1357	180	13.5	0.038
P431	1578	1582	1532	$2.9*10^2$	$3.07*10^2$	$3.28*10^2$	840	700	19.2	0.034
P138	116	116	62	$1.3*10^4$	$1.28*10^4$	$1.92*10^4$	1680	450	322.0	0.027
P241	5517	5516	4303	$2*10^3$	$1.85*10^3$	$2.86*10^3$	1920	420	334.5	0.002
P115	3087	3087	2252	$1.9*10^3$	$1.65*10^3$	$2.65*10^3$	3216	480	363.5	0.003
P104	452	452	450	$3*10^3$	$3.7*10^3$	$2.87*10^3$	2160	820	12.4	0.049
P95	99	99	86	$8.9*10^3$	$8.61*10^3$	$1.14*10^2$	2016	347	19.3	0.047
P178	271	271	240	$2.3*10^3$	$2.08*10^3$	$3.43*10^3$	1680	900	20.0	0.003
P97	1604	1603	984	$4.9*10^3$	$4.68*10^3$	$7.15*10^3$	2148	480	187.4	0.004
P579	231	229	139	$7.9*10^5$	$7.04*10^5$	$1.29*10^4$	2016	390	389.6	0.019
P99	8615	8613	7342	$1.5*10^3$	$1.16*10^3$	$1.98*10^3$	2928	480	437.0	0.002
P126	6527	6728	3845	$1.9*10^3$	$1.16*10^3$	$3.52*10^3$	2898	570	433.0	0.005
P254	213.7	214	202	$9.1*10^3$	$8.57*10^3$	$10.69*10^2$	1984	420	16.5	0.041
P432	2017	2010	1086	$1.2*10^3$	$1.20*10^3$	$1.71*10^3$	1080	420	431.0	0.002
P194	1389	1394	640	$4.9*10^4$	$3.88*10^4$	$7.93*10^4$	6780	480	480.0	0.007
P392	1890	1890	1469	$8.2*10^4$	$7.14*10^3$	$1.19*10^3$	2160	490	327.0	0.005
P228	130	130	119	$5.6*10^4$	$4.93*10^4$	$7.36*10^4$	1440	300	19.2	0.001
P273	293	293	156	$1.8*10^4$	$1.94*10^4$	$3*10^4$	2580	480	473.0	0.025
P307	1043	1043	707	$1.3*10^4$	$1.08*10^4$	$2.29*10^4$	936	300	400.0	0.003

2) Για τον υδροφορέα των τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης Δράμας παρατηρούμε ότι οι τιμές των T και S που προέκυψαν από τα τρία προγράμματα παρουσιάζουν σε κάθε πιεζόμετρο σημαντικότατες αποκλίσεις. Μικρότερες αποκλίσεις παρουσιάζουν οι γεωτρήσεις στα όρια της περιοχής οι οποίες εντοπίζονται σε τμήματα του υδροφορέα που δομούνται από πιο αδρόκκοκα υλικά. Οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν εδώ για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων έδωσαν και διαφορετικές τιμές η κάθε μια. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αναφορά των *Freeze και Cherry (1979)*, περί της μη μοναδικότητας της ερμηνείας των δοκιμαστικών αντλήσεων, διότι πολλές φορές η ταύτιση της πειραματικής καμπύλης με τη θεωρητική δεν σημαίνει ότι ο υδροφόρος εκπληρώνει τις προϋποθέσεις στις οποίες βασίζεται η χάραξη της πρότυπης καμπύλης. Οι αποκλίσεις των τιμών των παραμέτρων στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας Δράμας αυξάνουν με τη μείωση του μεγέθους των υλικών των υδροφόρων στρωμάτων. Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης λαμβάνει χαμηλές τιμές T από 95 έως 172 m^2/day που αποδίδονται στην επικράτηση λεπτομερών υλικών. Ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S κυμαίνεται από 1.4×10^{-3} έως 4×10^{-4}. Υψηλότερες τιμές της T που κυμαίνονται από 173 έως 492 m^2/day παρατηρούνται στα περιθώρια της λεκάνης. Ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S στο ίδιο τμήμα του υδροφορέα κυμαίνεται από 3×10^{-3} έως 3.0×10^{-2} τιμές οι οποίες είναι σαφώς υψηλότερες από αυτές του κεντρικού τμήματος της λεκάνης. Η αύξηση αυτή των τιμών συνδέεται με τα αυξανόμενα πάχη των υδροπερατών σχηματισμών στην

περιοχή αυτή αλλά και με την αύξηση της παρουσίας πιο αδρόκοκκων υλικών. Ο υδροφόρος που υπόκειται των αδιαπέραστων λιγνιτικών στρωμάτων και περιορίζεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης λαμβάνει τιμές μεταβιβαστικότητας T από 26 έως 95 m^2/day και τιμές συντελεστή εναποθήκευση s από $1x10^{-4}$ έως $1x10^{-5}$. Στην περίπτωση των επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων που λαμβάνουμε από τις δοκιμαστικές αντλήσεις είναι οι μέσες τιμές του συγκεκριμένου τμήματος του υδροφόρου συστήματος και όχι οι ιδιαίτερες εκείνες τιμές που χαρακτηρίζουν το κάθε υδροφόρο στρώμα.

Πίνακας 2. Τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και s του τεταρτογενούς υδροφορέα της λεκάνης Δράμας όπως υπολογίστηκαν με τη χρήση τριών προγραμμάτων Η/Υ.

Table 2. Values of hydraulic parameters T and s in the Drama quaternary aquifer system, estimated by using three different computer programs.

Α/Γ	T_{Jacob}	T_{Theis}	$T_{Theis-Fit}$	S_{Jacob}	S_{Theis}	$S_{Theis-Fit}$	Q (m^3/day)	t (min)	r (m)
Π1α	251		950	$1.4*10^{-2}$		$7.5*10^{-3}$	1584	3360	25.0
Π1β	251		259	$2.0*10^{-3}$		$1.4*10^{-2}$	1584	3360	43.0
Π2α	138		156	$2.4*10^{-3}$		$2.0*10^{-3}$	1560	3420	25.0
Π2β	311		216	$4.3*10^{-3}$		$2.8*10^{-4}$	1560	3420	37.5
Π5α	415		328	$3.0*10^{-3}$		$2.2*10^{-1}$	4608	2400	18.0
Π5β	467		337	$2.9*10^{-1}$		$3.9*10^{-1}$	4608	2400	25.0
Π10α	190	173	320	$7.3*10^{-3}$	$1.3*10^{-3}$		1008	2760	11.0
Π10β	130	173	117	$1.1*10^{-3}$	$2.7*10^{-3}$	$1.2*10^{-3}$	1008	2760	23.0
Π11α	449		311	$5.6*10^{-3}$		$1.3*10^{-2}$	696	3120	25.0
Π11γ	181			$6.1*10^{-4}$			696	3120	60.7
Π12α	216	199	173	$1.1*10^{-2}$	$1.5*10^{-2}$	$1.7*10^{-2}$	1560	3000	43.4
Π14α	138	216	199	$1.6*10^{-3}$	$8.9*10^{-4}$	$1.2*10^{-3}$	1440	4440	28.0
Π14β	251	233	156	$2.3*10^{-3}$	$1.1*10^{-3}$	$1.5*10^{-3}$	1440	4440	24.3
Π14γ	173		259	$3.0*10^{-3}$		$6.7*10^{-4}$	1440	4440	73.0
Π15β		173	251		$9.6*10^{-3}$	$6.3*10^{-3}$	528	1320	24.0
Π15γ	285	173	164	$6.4*10^{-3}$	$8.0*10^{-3}$	$7.4*10^{-3}$	528	1320	51.8
Π16α	95	95	95	$6.3*10^{-2}$	$3.3*10^{-3}$	$4.2*10^{-3}$	1224	2100	31.06
Π16β	328	259	302	$3.1*10^{-2}$	$3.4*10^{-3}$	$3.4*10^{-2}$	1224	2100	25.7
Π16γ	276	242	259	$5.3*10^{-3}$	$4.3*10^{-3}$	$5.4*10^{-3}$	1224	2100	47.4
Π17α	207	458	207	$1.7*10^{-2}$	$4.6*10^{-3}$	$1.5*10^{-2}$	1560	4260	43.0
Π17β	458	242	207	$1.6*10^{-2}$	$7.1*10^{-3}$	$8.0*10^{-3}$	1560	4260	32.0
Π17γ	112	104	112	$2.8*10^{-4}$	$2.7*10^{-3}$	$2.3*10^{-4}$	1560	4260	63.0
Π18α	752	354	553	$3.0*10^{-2}$	$8.1*10^{-2}$	$6.7*10^{-2}$	1440	1680	32.2
Π18β	346	302	233	$4.2*10^{-2}$	$3.5*10^{-2}$	$3.5*10^{-2}$	1440	1680	22.0
Π18γ		760	760		$1.0*10^{-2}$	$8.7*10^{-3}$	1440	1680	45.3
Π19α	95	65	24	$2.0*10^{-2}$	$1.8*10^{-3}$	$3.0*10^{-3}$	576	960	33.2
Π19β	138	48	66	$6.4*10^{-3}$	$7.5*10^{-3}$	$7.9*10^{-3}$	576	960	28.1
Π19γ	86	38	32	$5.3*10^{-3}$	$5.5*10^{-3}$	$5.6*10^{-3}$	576	960	32.15
Π22δ	156	147	173	$2.0*10^{-3}$	$1.1*10^{-3}$	$2.2*10^{-3}$	2040	2736	45.98
Π22γ	156		164	$1.1*10^{-3}$		$1.2*10^{-3}$	2040	2736	44.82
Π22β	259	380	501	$2.3*10^{-4}$	$2.0*10^{-3}$	$1.0*10^{-4}$	2040	2736	45.62
Π22α	207		432	$6.7*10^{-4}$		$2.0*10^{-3}$	2040	2736	950.0
Π23α	86	95	86	$1.2*10^{-3}$	$1.2*10^{-3}$	$1.3*10^{-3}$	996	2730	27.0
Π24α	79	95	82	$1.1*10^{-3}$	$9.4*10^{-4}$	$2.0*10^{-5}$	1560	2820	49.3
Π25α	1123		950	$1.5*10^{-3}$		$3.0*10^{-3}$	2440	3060	52.72
Π25β	562		596	$6.5*10^{-4}$		$2.0*10^{-5}$	2440	3060	53.42

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων στα υδροφόρα συστήματα, στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα και στη λεκάνη της Δράμας παρουσιάζουν όπως αυτά υπολογίστηκαν με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1 Υδροφόρο σύστημα Ν. Ροδόπης - Οι τιμές των Τ και S που βασίζονται μέθοδο του Jacob και στην εξίσωση του Theis σχεδόν ταυτίζονται ή είναι παραπλήσιες. Μια σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στις τιμές Τ και S που προέκυψαν από το πρόγραμμα THEISFIT. Οι τιμές του Τ είναι συνήθως μικρότερες απ' ότι στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, ενώ μερικές φορές παρουσιάζεται και μια διαφοροποίηση ως προς την τάξη μεγέθους του S.

2. Υδροφόρο σύστημα λεκάνης της Δράμας: Οι τιμές των Τ και S που προέκυψαν με τη χρήση των τριών μεθόδων παρουσιάζουν σημαντικότατες αποκλίσεις. Οι μικρότερες αποκλίσεις παρατηρούνται σε γεωτρήσεις στα όρια της περιοχής και οι μεγαλύτερες σε γεωτρήσεις του κεντρικού τμήματος της λεκάνης.

Οι διαφορετικές τιμές της μεταβιβαστικότητας Τ (υψηλότερες στο Ν. Ροδόπης) που παρουσιάζουν τα δυο υδροφόρα συστήματα θα πρέπει να αποδοθούν στο περιβάλλον ιζηματογένεσης και πιο συγκεκριμένα: 1. στα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας των δύο συστημάτων και στον τύπο της υδροφορίας, 2. στο μέγεθος της διαμέτρου των υλικών και στην κατανομή τους στο χώρο. Στο περιβάλλον του διακλαδιζόμενου ποταμού, έχουμε επικράτηση των αδρόκοκκων υλικών, ενώ στην πεδιάδα της Δράμας κυριαρχούν οι λεπτόκοκκες φάσεις, 3. στα λιθολογικά πρότυπα και στα πρότυπα των διαφόρων φάσεων που συνθέτουν το διαφορετικό ιζηματογενές περιβάλλον.

Στο υδροφόρο σύστημα του Ν. Ροδόπης η έντονη ετερογένεια των υλικών σε μικρή κλίμακα δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τη διακύμανση των τιμών των υδραυλικών παραμέτρων σε μεγάλη κλίμακα. Στο υδροφόρο σύστημα της Δράμας η ετερογένεια εμφανίζεται σε μεγάλη κλίμακα κυρίως κατά την κατακόρυφο έννοια και επηρεάζει, τόσο την ερμηνεία των διαφόρων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση των υδραυλικών παραμέτρων όσο και αυτή καθαυτή την απόδοση του υδροφόρου συστήματος(περιορισμένης δυναμικότητας).

Στα χονδρόκκοκα υλικά, όπως στην περίπτωση του Ν. Ροδόπης, ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων, παρουσιάζει ελάχιστες αποκλίσεις στις τιμές, σε αντίθεση με το πεδινό τμήμα της λεκάνης Δράμας όπου παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις που σχετίζονται με την παρουσία λεπτομερών υλικών και τη διάταξή τους στο ανάπτυγμα του υδροφορέα. Στην τελευταία περίπτωση διαφαίνεται και η δυσκολία εκτίμησης αξιόπιστων τιμών των υδραυλικών παραμέτρων όπου χρησιμοποιήθηκαν κλασικές μέθοδοι που βασίζονται στη χρήση πρότυπων θεωρητικών καμπυλών. Το διαφορετικό ιζηματογενές περιβάλλον, ακόμη και όταν η πηγή προέλευσης του υλικού είναι κοινή, παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των τιμών των διαφόρων υδραυλικών παραμέτρων. Ο αξιόπιστος υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων είναι ιδιαίτερα σημαντικός στη σύνταξη των διαφόρων μοντέλων (π.χ. ροής, μεταφοράς ρύπαντών ή διαχειριστικών) που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BOONSTRA, J.,(1994). SATEM: Selected Aquifer Test Evaluation Methods. A microcomputer program, ILRI publication 48, 80 p.

CLARKE, D., (1988). Groundwater Discharge tests: 2. Simulation and analysis. Elsevier, Amsterdam, Developments in Water Science, Vol. 37, p. 319.

COOPER, H. H. AND C. E. JACOB, (1946). A generalised graphical method for evaluating formation constants and summarising well history. Am. Geophys. Union Trans., Vol. 27, pp. 526-534.

DRISCOLL, F. G., (1986). Groundwater and wells. 2nd ed. St. Paul, Johnson Division.

FREEZE, R. A. AND J. CHERRY (1979). Groundwater. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs N.J., 604 p.

HOUSTON, W. N. AND A. G. KASIM, (1982). Physical Properties of Porous Geologic materials In: Recent Trends in Hydrogeology, Geological Society of America, Special Paper 189, ed. T. N. Narasimhan, pp. 143-162.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. 2 Τόμοι. Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα.

KRUSEMAN, G. P. AND N. A. DE RIDDER,(1992). Analysis and evaluation of pumping test data. Second edition, Publication 47. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, 377 p.

MCELWEE, C. D.,(1980). The Theis Equation: An evaluation, sensitivity to storage and transmissivity, and automatic fit of pump test data. Kansas Geol. Surv., Univ. of Kansas, USA.

ΜΕΛΙΔΥΝΗΣ, Ν., (1966). Φίλιπποι-Γεωλογική και κοιτασματολογική προμελέτη. ΙΓΕΥ, Αθήνα.

MIALL ANDREW, D., (1977). A review of the braided-river depositional environment. Earth Science Re-

views, Vol. 13, pp. 1-62.

ΜΠΡΟΥΣΟΥΛΗΣ Ι, Π. ΓΙΑΚΚΟΥΠΗΣ, Ε. ΑΡΑΠΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΑΙ Ι. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ, (1991): "Γεωλογικ κοιτασματολογική μελέτη κοιτάσματος λιγνίτη Δράμας". Ι.Γ.Μ.Ε, 1990.

ΠΑΝΙΛΑΣ Σ. ΚΑΙ Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ,(1997). Υδρογεωλογικές συνθήκες της πεδιάδας Δράμας. 4 Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσ/νίκη 1997, σελ. 376 – 392.

ΠΑΝΙΛΑΣ Σ. ΚΑΙ Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ,(1997). Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και της υδροχημείο των υπόγειων νερών στο λιγνιτικό πεδίο της Δράμας. 4° Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσ/νίκη, 1997 σελ. 39 – 407.

ΠΑΝΙΛΑΣ, Σ., (1998). Υδρογεωλογικά προβλήματα κατά την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων με τ μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής. Η περίπτωση του λιγνιτικού κοιτάσματος Δράμας. Διδακτορική Διατριβ Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.

ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ. ΚΑΙ Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, (1994). Υδρογεωλογική διερεύνηση του υδροφόρου συστήματος τω νεογενών αποθέσεων ανατολικού τμήματος λεκάνης Ξάνθης-Κομοτηνής. Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικο Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας, σελ. 403-418.

ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ., (1997). Ανάλυση υδροφόρων συστημάτων στο ετερογενές και παράκτιο πεδίο Ν. Ροδόπης Διδακτορική Διατριβή Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης-Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη 288 σελ

PICARD, M.D. AND L.R. HIGH, JR., 1981. Physical stratigraphy of ancient lacustrine deposits. In 'Recent an ancient nonmarine depositional environments: Models for exploration' SEPM Special Publication No. 31 eds. F.G. Ethridge and R.M. Flores, pp. 233-259.

ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ, Γ., Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ ΚΑΙ Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ (1992). Υπολογισμός εμπειρικής σχέσης για τη εκτίμηση της μεταφορικότητας (Τ) σ' ένα εκτεταμένο λοφώδες ετερογενές πεδίο - επιβεβαίωση τη ετερογένειας. Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Λάρισα, Νοέμβριο 1992, σελ. 251-258.

THEIS, C. V., (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration o discharge of a well groundwater storage. Am. Geophys, Union Trans., Vol. 16, pp. 519-524.

VISHER, G.S., 1965. Use of vertical profile in environmental reconstruction: Amer. Assoc. Petroleum Geologist Bull., Vol. 49, pp. 41-61.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1923-1932, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1923-1932, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΠΕΔΙΝΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ. ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ*

Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ[1], Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ[1], Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ[1], Σ. ΠΑΝΙΛΑΣ[2]

ΣΥΝΟΨΗ

Η εργασία ασχολείται με τη μελέτη και αξιολόγηση όλων των στοιχείων που προκύπτουν από τις ερευνητικές εργασίες που κρίθηκαν ως απαραίτητες για την καταρχήν διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στις πεδινές περιοχές Ξυλαγανής – Ίμερου και Πρωτάτου – Αρίσβης του Ν. Ροδόπης. Οι εργασίες, για κάθε περιοχή, περιέλαβαν σχετική γεωλογική και γεωφυσική έρευνα, μετρήσεις της μεταβολής της στάθμης επιλεγμένων γεωτρήσεων παρακολούθησης, μετρήσεις της ηλεκτραγωγιμότητας των υπόγειων νερών όπως και το σχεδιασμό πιεζομετρικών χαρτών κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Από την έρευνα προκύπτει η εκτίμηση της αδυναμίας εφαρμογής αποτελεσματικού τεχνητού εμπλουτισμού στην πρώτη περιοχή, ενώ το βόρειο τμήμα της παλιάς κοίτης του Φλουροπόταμου, στη δεύτερη περιοχή, προσφέρεται για την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού με ευεργετικά από υδρογεωλογική άποψη αποτελέσματα για το ερευνούμενο τμήμα αλλά και για την ευρύτερη περιοχή.

ABSTRACT

This paper deals with the study and evaluation of the results of the research works considered as necessary in studying the feasibility of artificial recharge application to Rhodopi plain areas Xylagani – Imeros and Protato – Arisvi, in Thrace. These works concluded for each area a relevant geological and geophysical research, measuring of the fluctuation levels of the monitoring wells, measuring of the groundwater electrical conductivity and the draw of piezometric maps. At the Xylagani – Imeros plain area, the regional groundwater potential ensures adequately irrigation consumption during a typical hydrological year but under overpumping conditions. The groundwater quality of the shallow aquifers, south of Imeros, is affected directly by seawater, while the deep aquifers northerly are also affected gradually by seawater. The evaluation and careful studying of all the relevant data, analysis, measurements and maps as also the focusing particularly in the extensive presence of clay resulted in finding out the ineffectiveness of probable artificial recharge application by augmenting Lissos river flow or by reactivating the old east stream bed – ditch of Lissos river at the study area. At the Protato – Arisvi plain area after studying and evaluating the relevant research results it was concluded that a controlled reactivation of the north section of the old stream bed of Flouropotamos as it is extended nowadays after the interventions of the past decades at the study region, in combination with some other interventions discussed in the paper, can positively and substantially result in hydrogeological beneficial effects for the study area and the surrounding region.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διαχείριση υπόγειων νερών, υπερεκμετάλλευση υπόγειων νερών, υφαλμύρινση, διερεύνηση εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων.

KEY WORDS: Groundwater management, overexploitation, salinization, artificial recharge research.

1. ΓΕΝΙΚΑ

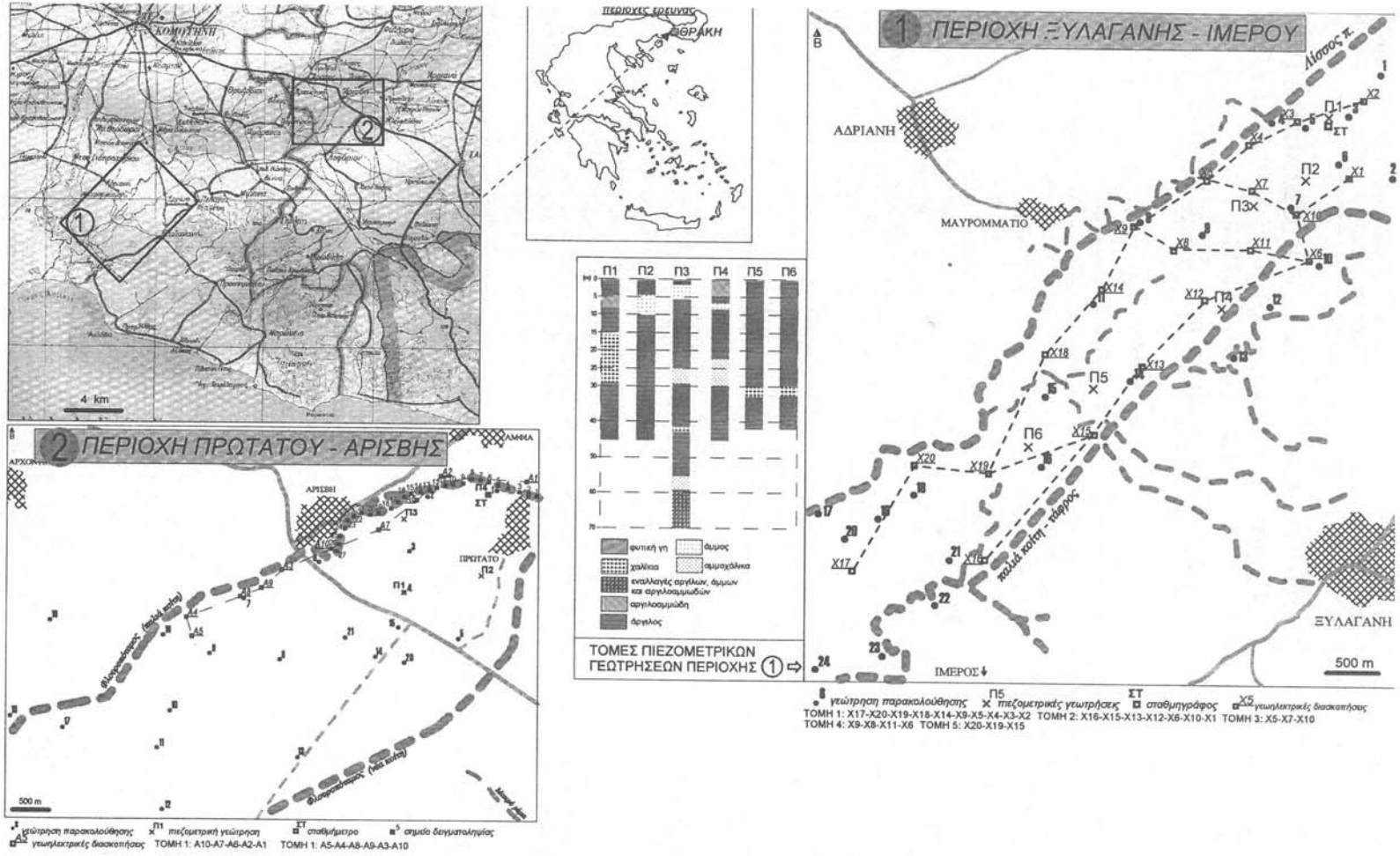
Η εργασία διερευνά τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε δύο σχετικά μικρά αλλουβιακά πεδία στο ΝΑ τμήμα του νομού Ροδόπης, τα πεδινά τμήματα Ξυλαγανής – Ίμερου και Πρωτάτου – Αρίσβης (σχ. 1), τα οποία από κάποιες αρχικές παρατηρήσεις φάνηκε να προσφέρονται για τέτοιες εφαρμογές. Η συλ-

* FEASIBILITY STUDY OF ARTIFICIAL RECHARGE APPLICATION TO RHODOPI PLAIN AREAS AQUIFERS IN THRACE, GREECE. A FIRST APPROACH.

1. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, 67100 Ξάνθη.
2. Δ.Ε.Η. Διεύθυνση Λιγνιτικών Ερευνών. Κλιμάκιο Εκτέλεσης Γεωερευνητικών Έργων, 66100 Δράμα.

Σχήμα 1. Χάρτης με τις περιοχές έρευνας, τις γεωτρήσεις παρακολούθησης, τις πιεζομετρικές γεωτρήσεις και τις γεωλογικές τομές τους, τα σημεία δειγματοληψίας για κοκκομετρικές αναλύσεις, τις γεωφυσικές διασκοπήσεις και τους άξονές τους.

Figure 1. The study areas, the monitoring wells, the piezometric wells and their geological sections, the earth material sampling positions for particle-size distribution analysis, the geoelectrical sounding locations and their section axes.



λογή και μελέτη όλων των στοιχείων όπως και η εκτέλεση των απαραίτητων ερευνητικών εργασιών έγιναν στο πλαίσιο εκπόνησης ερευνητικού προγράμματος από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υδραυλικών Έργων, για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας με θέμα τη μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων Ξάνθης – Ροδόπης(Σακκάς et al., 1998).

Η *περιοχή Ξυλαγανής – Ίμερου* (σχ. 1, περιοχή 1) εκτείνεται μεταξύ του ποταμού Λίσσου και των δυτικών κρασπέδων του όρους Ίσμαρου, ενώ το νότιο τμήμα του συνορεύει με τη θάλασσα. Οι υδροφορείς του δέχονται τροφοδοσία από τον παρακείμενο ποταμό Λίσσο και την ορεινή ζώνη του Ίσμαρου. Μετά την ανόρυξη βαθιών γεωτρήσεων, τη 10ετία του '80, βάθους 60-80 m, λόγω της μη ικανοποίησης πλέον των αρδευτικών αναγκών από τις υπάρχουσες αβαθείς γεωτρήσεις, παρατηρήθηκε η εμφάνιση του φαινόμενου της υφαλμύρινσης των υπόγειων νερών, που χρόνο με το χρόνο εντείνεται. Η κύρια αιτία ήταν η είσοδος της θάλασσας μέσα από την κοίτη του ποταμού Λίσσου σε συνδυασμό με τις μεγάλες αντλήσεις και τα χαμηλά υψόμετρα της περιοχής.

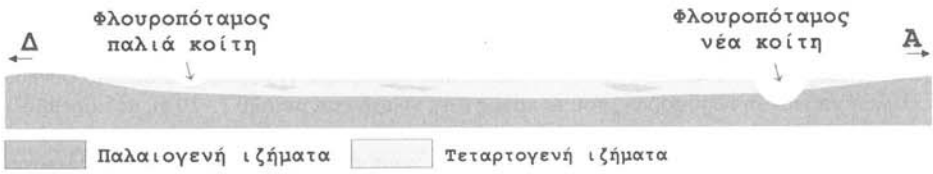
Η *περιοχή Πρωτάτου – Αρίσβης* (σχ. 1, περιοχή 2) εντοπίζεται στο πεδινό τμήμα του Φλουροπόταμου (κλάδου του Λίσσου), ο οποίος πριν την επέμβαση στο υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής τη δεκαετία του '60, διέσχιζε μια μεγάλη έκταση. Μετά την επέμβαση ο κεντρικός χείμαρρος εγκιβωτίστηκε και ευθυγραμμίσθηκε και λίγο πριν το Πρωτάτο εκτράπηκε από την παλιά του διαδρομή σε νέα διαδρομή βόρεια του Λοφαρίου, αποκόπτοντας ένα σημαντικό τμήμα της παλιάς κοίτης, η οποία όμως ακόμα και σήμερα παραμένει στην αρχική της κατάσταση (δεν υπάρχουν καταπατήσεις). Η νέα κοίτη έχει διανοιχτεί, σε ένα σημαντικό μήκος της, μέσα στο παλαιογενές της περιοχής (υλικά πολύ μικρής περατότητας), ενώ υψομετρικά η νέα κοίτη βρίσκεται πιο χαμηλά από την παλιά (σχ. 2) και έτσι τροφοδοτεί τα υδροφόρα μέχρι κάποιο συγκεκριμένο ύψος και μάλιστα όταν η στάθμη του ποταμού είναι ψηλά, ενώ σε χαμηλές στάθμες αδυνατεί. Το υπόλοιπο τμήμα του υδροφορέα συμπληρώνεται από κατεισδύσεις της βροχής.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ - ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Οι περιοχές γεωλογικά ανήκουν στο ανατολικό τμήμα ενός από τα τριτογενή βυθίσματα (βύθισμα Βιστωνίδας) της Ροδοπικής μάζας. Χαρακτηριστικό της όλης περιοχής είναι η έντονη τεκτονική δραστηριότητα του παρελθόντος με την παρουσία σήμερα ρηγμάτων. Γεωλογικό υπόβαθρο αποτελούν τα παλαιογενή ιζήματα της Ροδοπικής μάζας. Πάνω από αυτά εντοπίζονται οι αποθέσεις, που χαρακτηρίζονται ως διλουβιακές (χερσαίες) αποθέσεις κοκκινωπών έως αμμούχων αργίλων, με διάσπαρτα ασβεστιτικά συγκρίματα και με ασβεστιτικούς ορίζοντες μικρού πάχους. Είναι αποθέσεις συνεκτικές έως πολύ συνεκτικές με ασβεστιτική έως αργιλική συγκολλητική ύλη και το πάχος τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 50 και 80 m ενώ το μεγαλύτερο πάχος τους παρατηρείται στην περιοχή Ξυλαγανής – Ίμερου.

Οι περιοχές έρευνας εντοπίζονται σ' ένα σύνολο πρόσφατων ιζημάτων, που εκτιμώνται σε μέγιστο πάχος μέχρι 15 m και προέκυψαν κυρίως από τις αποθέσεις του ποταμού Λίσσου και των διαφόρων κλάδων του. Τα ιζήματα αυτά που έχουν ως υπόβαθρο στην μεν πρώτη περιοχή απευθείας τα παλαιογενή, ενώ στη δεύτερη περιοχή κυρίως τις πλειστοκαινικές αποθέσεις, αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων άμμου, αργίλων και ιλύος με περιορισμένη όμως ανάπτυξη.

Η περιοχή Ξυλαγανής - Ίμερου αποτελεί πεδινό τμήμα με ήπια μορφολογία με ιδιαίτερα χαμηλά υψόμετρα. Το πεδινό τμήμα, βόρεια των παράκτιων ακαλλιέργητων εκτάσεων, σήμερα καλλιεργείται σχεδόν στο σύνολό του με κύρια καλλιέργεια το βαμβάκι (περίπου 95%)και τα τεύτλα. Η περιοχή Πρωτάτου – Αρίσβης είναι ομαλή με πολύ μικρές κλίσεις. Περιβάλλεται από ένα λοφώδες ανάγλυφο, ήπιο, με χαμηλά γενικά υψόμετρα (<100 m). Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελεί μέρος του δικτύου του Λίσσου ποταμού. Στις πεδινές εκτάσεις της περιοχής έρευνας καθώς και στις λοφώδεις που τις περιβάλλουν σήμερα καλλιεργούνται σιτηρά, αραβόσιτος, βαμβάκι και τεύτλα (Σακκάς et al., 1998).



Σχήμα 2. Σχηματική γεωλογική τομή διεύθυνσης Α-Δ στην περιοχή Πρωτάτου – Αρίσβης.
Figure 2. Geological sketch directed E-W at the Protato – Arisvi area.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1η περιοχή (Ξυλαγανή – Ίμερος)

Ανορύχθηκαν 6 *πιεζομετρικές γεωτρήσεις* βάθους 45 m - 70 m (σχ. 1, περιοχή 1). Σε όλες τις λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων επικρατούν τα αργιλικά υλικά είτε τα πλειοπλειστοκαινικά, προς τα κράσπεδα (κόκκινη άργιλος), είτε τα παλαιογενή, προς το κεντρικό και βόρειο τμήμα (γκρι-πράσινη άργιλος), είτε ακόμα οι πρόσφατες θαλάσσιες αποθέσεις (άργιλος με κοχύλια). Επίσης έντονη είναι η παρουσία της μαύρης οργανομιγούς αργίλου (βούρκος) σε όλη σχεδόν την έκταση του πεδινού τμήματος, που ξεκινά κατά θέσεις από τα 5 m κάτω από την επιφάνεια και σε ορισμένες γεωτρήσεις συναντιέται μέχρι τα 24 m βάθος. Αυτό δείχνει ότι η περιοχή κατά το παρελθόν αποτελούσε μια κλειστή αβαθή λίμνη.

Πραγματοποιήθηκαν 20 *γεωφυσικές διασκοπήσεις* (σχ. 1, περιοχή 1) και σχεδιάστηκαν 5 *γεωηλεκτρικές τομές* (σχ. 3, περιοχή 1). Διακρίνονται 4 κύριοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί οι οποίοι σε συνδυασμό με τα γεωτρητικά αποτελέσματα διακρίνονται ανάλογα με τη διακύμανση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε (ASCE, 1987, Καλλέργης, 1986): (1) άμμο χονδρόκοκκη (>40 Ohm.m), (2) άμμο λεπτόκοκκη, (40-25 Ohm.m), (3) αργιλοαμμώδες (25 - 15 Ohm.m), (4) άργιλο (<15 Ohm.m). Σε όλο το τμήμα κυριαρχούν τα αργιλικά και τα αργιλοαμμώδη υλικά, γεγονός που δυσκολεύει την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού.

Από τις *κοκκομετρικές αναλύσεις* και τις αντίστοιχες καμπύλες που σχεδιάστηκαν από 25 εδαφικά δείγματα που πάρθηκαν σε διάφορες θέσεις περίπου σε βάθος 30 cm, προέκυψε ότι στα περισσότερα δείγματα το χονδρόκοκκο υλικό συμμετέχει στο δείγμα σε ποσοστό <20%, γεγονός που δηλώνει ότι στα επιφανειακά στρώματα επικρατούν τα αργιλικά υλικά με πολύ μικρή συμμετοχή λεπτόκοκκων άμμων (Σακκάς et al., 1998).

2η περιοχή (Πρωτάτο – Αρίσβη)

Ανορύχθηκαν 4 *πιεζομετρικές γεωτρήσεις* (σχ. 1, περιοχή 2), που μετά τα 12 m διέτρησαν το παλαιογενές υπόβαθρο όπου και σταμάτησαν. Μέχρι τα 12 m κυριαρχούν επιφανειακά τα αργιλοαμμώδη (πάχος κατά μέσο όρο 5 m) και στη συνέχεια μέχρι τα 12 m επικρατούν τα αμμοχαλικώδη.

Για τη διερεύνηση των αποθέσεων στην άμεση γειτονιά της παλιάς κοίτης πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 *γεωφυσικές διασκοπήσεις* (σχ. 1, περιοχή 2) και σχεδιάστηκαν 2 *γεωηλεκτρικές τομές* (σχ. 3, περιοχή 2). Διακρίνονται 3 κύριοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί οι οποίοι διακρίνονται ανάλογα με τη διακύμανση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ASCE, 1987, Καλλέργης, 1986): (1) σε εναλλαγές αργιλοαμμωδών και αμμοχάλικων όπου επικρατούν τα αμμοχάλικα (>40 Ohm.m), (2) σε εναλλαγές αργίλων και αργιλοαμμωδών όπου επικρατούν τα αργιλοαμμώδη (15-40 Ohm.m) και (3) στο σχηματισμό του υποβάθρου που αποτελείται από αργιλικούς σχιστόλιθους (<15 Ohm.m). Το χαρακτηριστικό της περιοχής είναι το σημαντικά μεταβαλλόμενο πάχος των αποθέσεων. Το αρχικό τμήμα (από διασκόπηση 1- διασκόπηση 6) εμφανίζει ένα σημαντικό πάχος αποθέσεων και μάλιστα με την επικράτηση των περατών, εικόνα που επιβεβαιώνεται τουλάχιστον στα μικρά βάθη και από τις ανάλογες κοκκομετρικές αναλύσεις. Η διαπίστωση αυτή δημιουργεί αρχικά ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στο αρχικό αυτό τμήμα της κοίτης.

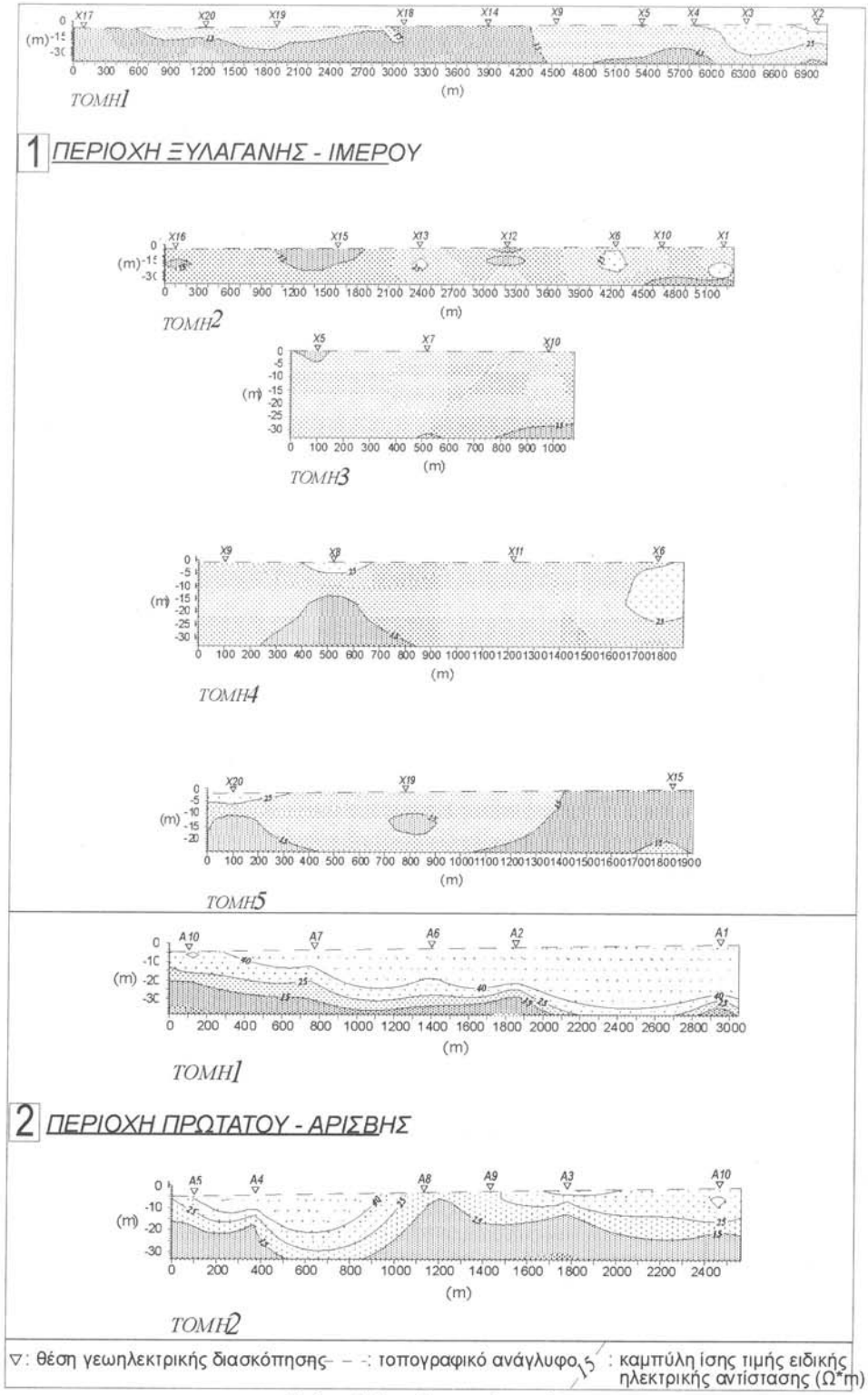
Για μια καλύτερη εικόνα του υλικού που φιλοξενεί η παλιά κοίτη και κυρίως του τμήματός της μεταξύ Πρωτάτου και Αρίσβης, πάρθηκαν 27 δείγματα σε διαφορετικές θέσεις, περίπου ανά 125 m και σε βάθος 30 cm από την επιφάνεια της κοίτης (σχ. 1, περιοχή 2). Οι *κοκκομετρικές αναλύσεις* έδειξαν ότι επιφανειακά εντοπίζονται στο αρχικό τμήμα της κοίτης συχνές εναλλαγές χονδρόκοκκων (άμμου και χαλικιών) και λεπτομερών υλικών (ιλυώδη, αργιλικά), ενώ προς το νότιο όριο του πεδίου έρευνας επικρατούν τα λεπτομερή υλικά.

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1η περιοχή (Ξυλαγανή – Ίμερος)

Οι υδρογεωτρήσεις της περιοχής, που αριθμούν περίπου τις 55, έχουν μέσο βάθος 70 m, ενώ εμφανίζουν μια μέση παροχή περίπου 40 m^3/h, που στα βόρεια φτάνει τα 60 m^3/h - 70 m^3/h. Οι βαθύτερες γεωτρήσεις έχουν διατρήσει εκτός από τις πρόσφατες το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά τα 15 με 20 m και πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις στις οποίες μάλλον εντοπίζονται τα πιο αποδοτικά υδροφόρα. Η υδροφορία απαντά συνήθως με τη μορφή επάλληλων υπό πίεση υδροφόρων, που το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 1 - 10 m, με παρεμβολές αργίλων ποικίλου πάχους.

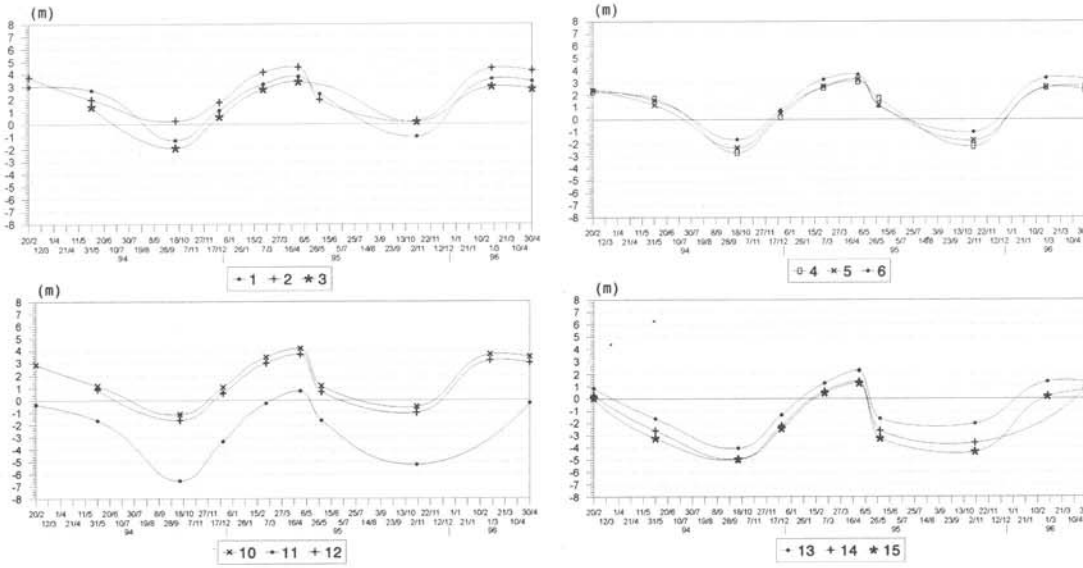
Μετά τη δεκαετία του ΄80 η αναγκαστική εκβάθυνση των γεωτρήσεων και η αλλαγή των καλλιεργειών από καλαμπόκι και τεύτλα σε βαμβάκι είχε ως αποτέλεσμα σήμερα να ικανοποιούνται σχεδόν κατά 100% οι αρδευτικές ανάγκες με σημαντικά όμως προβλήματα σε χρονιές πτωχές υδρολογικά. Το πρόβλημα που προέκυψε μετά την εκβάθυνση των γεωτρήσεων ήταν η αχρήστευση των αβαθών γεωτρήσεων λόγω υφαλμύρινσης στο



Σχήμα 3. Γεωηλεκτρικές τομές.
Figure 3. Geoelectrical sections.

νότιο τμήμα (περιοχή Ίμερου) και της επέκτασής της σε βαθύτερους υδροφορείς πιο βόρεια.

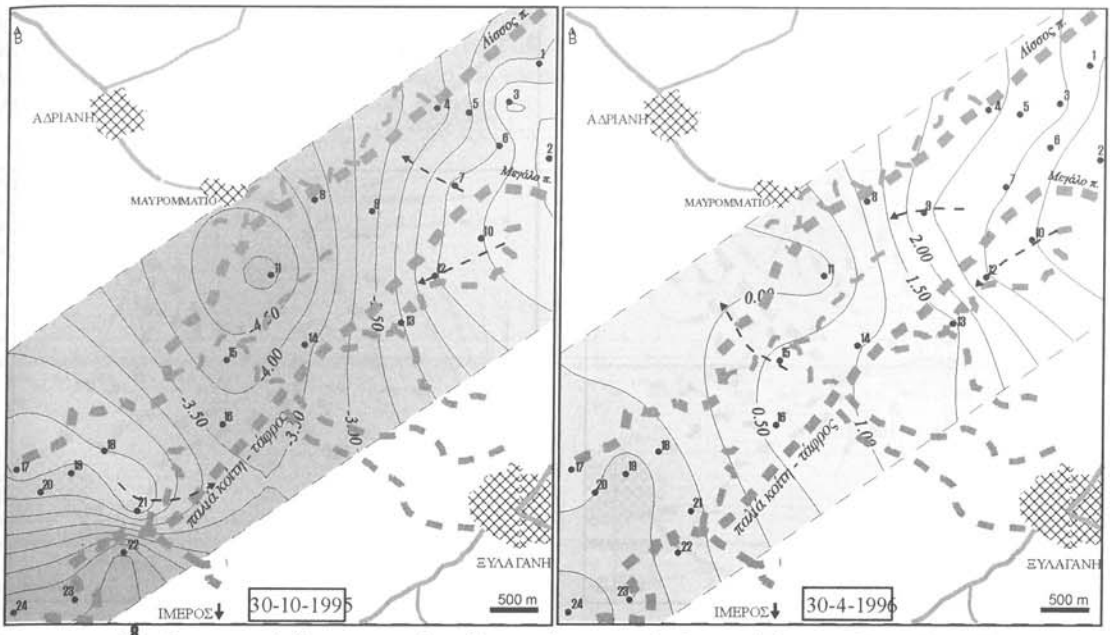
Παρακολουθήθηκε η μεταβολή της στάθμης σε 24 γεωτρήσεις (σχ. 1, περιοχή 1) ομοιόμορφα κατανεμημένες στο πεδινό τμήμα, σε τακτά χρονικά διαστήματα από 20/2/1994 έως 30/4/1996, όπως και σε εγκαταστημένο αυτογραφικό σταθμηγράφο για το χρονικό διάστημα 4/9/96 – 7/12/97. Από τα σχετικά διαγράμματα της μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης, που σχεδιάστηκαν για όλες τις γεωτρήσεις και μέρος των οποίων παρουσιάζεται στο σχ. 4, προέκυψε ότι η διαφορά στάθμης για ένα μέσο χρόνο μεταξύ υψηλής και χαμηλής στάθμης φτάνει μέχρι τα 6 m με το μεγαλύτερο ποσοστό να κυμαίνεται στα 4-6 m. Η μορφή των διαγραμμάτων δηλώνει την καλή λειτουργία των υδροφόρων με άμεση αναπλήρωσή τους στη διάρκεια του έτους. Χαρακτηριστικό όμως σχεδόν των περισσοτέρων γεωτρήσεων και κυρίως αυτών που βρίσκονται προς τα νότια είναι ότι οι στάθμες ηρεμίας βρίσκονται είτε συνεχώς είτε περιοδικά κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, γεγονός στο οποίο βοηθούν τα χαμηλά υψόμετρα του πεδίου. Η περίπτωση αυτή, που οφείλεται κυρίως στη δομή του υπεδάφους με την παρεμβολή αργιλικών υλικών στις περιοχές που θα μπορούσαν να επικοινωνούν με πηγές τροφοδοσίας (ποτάμι), αποτελεί χρόνια περίπτωση και ευνοεί την εμφάνιση του προβλήματος της υφαλμύρινσης, η οποία παρουσιάζεται περιορισμένη λόγω ακριβώς της μικρής περατότητας των υλικών που παρεμβάλλονται μεταξύ του πεδινού τμήματος και της θάλασσας.



Σχήμα 4. Διαγράμματα μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής Ξυλαγανής - Ίμερου.

Figure 4. Water table fluctuations of the Xylagani - Imeros area wells.

Οι 10 πιεζομετρικοί χάρτες (2 χάρτες παρουσιάζονται στο σχ. 5), που σχεδιάστηκαν για το χρονικό διάστημα 20/2/1994 – 30/4/1996 με τη μέθοδο παρεμβολής Kriging και το πρόγραμμα H/Y Surfer, εμφανίζουν χαρακτηριστικούς άξονες υπόγειας τροφοδοσίας κατά τόπους σχετικά παράλληλους προς τους κύριους άξονες επιφανειακής απορροής. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα του Οκτωβρίου, όπου παρατηρείται ένας σημαντικός άξονας τροφοδοσίας με φορά διεύθυνσης από τη θάλασσα όπως επίσης φαίνεται μια περιοχή στο κέντρο και προς το δυτικό όριο του πεδίου έρευνας που βρίσκεται κάτω από καθεστώς υπεράντλησης. Η αραίωση ή πύκνωση των ισοπιεζομετρικών γραμμών ποικίλλει από θέση σε θέση. Αυτό επιβεβαιώνει την ετερογένεια των υδροφορέων, όπως προέκυψε από προηγούμενα στοιχεία. Γενικά φαίνεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής δέχονται τροφοδοσία αλλά και σε ορισμένες θέσεις τροφοδοτούν το υδρογραφικό δίκτυο. Παρατηρείται κυρίως μια σταθερή τροφοδοσία από την ανάντη ΒΑ περιοχή, από τις διηθήσεις της ορεινής ζώνης και μια τροφοδοσία από το βόρειο ανάντη τμήμα του ποταμού Λίσσου εκτός της περιοχής έρευνας, ενώ δεν φαίνεται ο Λίσσος να τροφοδοτεί τους υδροφόρους της περιοχής σχεδόν σε όλο το μέρος τη κοίτης του που εντοπίζεται μέσα στο πεδίο έρευνας. Αυτό δικαιολογείται από τη δομή του υπεδάφους και κυρίως το μεγάλο πάχος των αργιλικών υλικών. Στα νότια τμήματα και για ορισμένους μήνες το υπόγειο νερό φαίνεται πως ενισχύεται από νερά με κατεύθυνση προς τη θάλασσα.



γεώτρηση παρακολούθησης – – → κύριος άξονας υπόγειας τροφοδοσίας —1.5— ισοπιεζομετρική καμπύλη

Σχήμα 5. Πιεζομετρικοί χάρτες των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων της περιοχής Ξυλαγανής - Ίμερου.
Figure 5. Piezometric maps of the confined aquifers at the Xylagani – Imeros area.

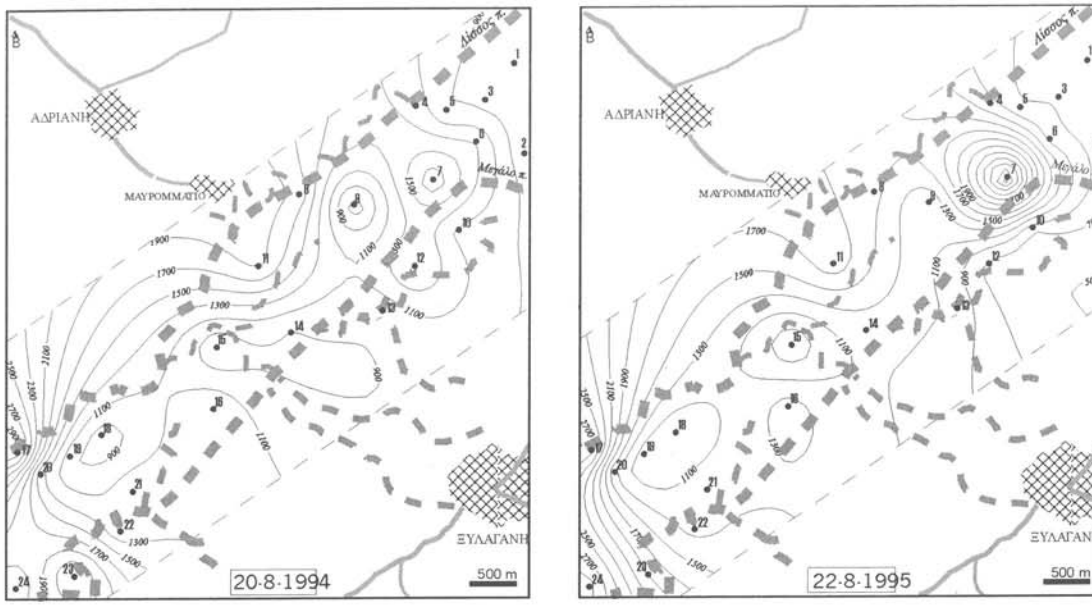
Πραγματοποιήθηκαν σε δυο διαδοχικά καλοκαίρια (Αύγουστος 1994, 1995) μετρήσεις της τιμής της ηλεκτραγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχ. 6). Γενικά οι τιμές κυμαίνονται σε μέτρια επίπεδα, από 800-3.000 μS/cm, με μεγαλύτερη συγκέντρωση από 100-1500 μS/cm (Σακκάς et al., 1998). Οι μεγαλύτερες τιμές, όπως ήταν αναμενόμενο, εντοπίζονται στο νότιο τμήμα και οφείλονται στις συνεχώς αρνητικές στάθμες και στη γειτνίαση με τη θάλασσα. Επίσης παρατηρείται σχετικά μικρή αύξηση των τιμών προς το κεντρικό τμήμα από το 1994 στο 1995, που οφείλεται στην υπεράντληση του τμήματος αυτού με συνέπεια τη ροή προς τα ανάντη του ήδη επιβαρημένου νερού του νότιου τμήματος. Οι μικρότερες τιμές στο ΒΑ τμήμα επιβεβαιώνουν την κύρια τροφοδοσία πλευρικά από την ορεινή ζώνη.

2η περιοχή (Πρωτάτο – Αρίσβη)

Χαρακτηριστικό των παλαιογενών ιζημάτων της περιοχής είναι το λεπτομερές των ψαμμιτικών υλικών καθώς και η έντονη παρουσία των αργιλικών υλικών με συνέπεια την εμφάνιση ελάχιστης έως μηδενικής υδροφορίας.

Γεωτρήσεις οι οποίες διέτρησαν αποκλειστικά τα παλαιογενή, τόσο στην περιοχή έρευνας όσο και σε γειτονικές, παρουσίασαν αποδόσεις μηδενικές ή μέχρι 5 m^3/h. Το πάχος των πρόσφατων αποθέσεων δεν ξεπερνά τα 15 m, ενώ μειώνεται στα όρια με το λοφώδες ανάγλυφο αλλά και προς τα νότια. Οι αποθέσεις αυτές που αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων, άμμων και χαλίκων, που αλληλοσυμπλέκονται και δημιουργούν ένα ετερογονές περιβάλλον, φιλοξενούν αβαθείς μερικώς υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες, χωρίς συνεχή ανάπτυξη. Η τροφοδοσία των υδροφόρων εξασφαλίζεται από τις κατεισδύσεις και από τις διηθήσεις από τους άξονες επιφανειακής απορροής την περίοδο που έχουν ροή.

Παρακολουθήθηκε η μεταβολή της στάθμης σε 21 γεωτρήσεις (σχ. 1, περιοχή 2), ομοιόμορφα σχεδόν κατανεμημένες στο πεδινό τμήμα, σε τακτά χρονικά διαστήματα από το Δεκέμβριο του 1994 μέχρι τον Απρίλιο του 1996. Επίσης για το χρονικό διάστημα 4/9/1996 - 18/2/1998 εγκαταστάθηκε αυτογραφικός σταθμηγράφος. Από τα σχετικά διαγράμματα διακύμανσης του υψομέτρου της στάθμης που σχεδιάστηκαν για όλες τις γεωτρήσεις και μέρος των οποίων παρουσιάζονται στο σχ. 7, προέκυψε ότι η διαφορά στάθμης για ένα μέσο χρόνο μεταξύ υψηλής και χαμηλής τιμής δεν ξεπερνά το 1,5 m, με το μεγαλύτερο ποσοστό να κυμαίνεται μέχρι 1m. Από παλαιότερες έρευνες και από μετρήσεις σε ένα αριθμό γεωτρήσεων που οι περισσότερες ταυτίζονται με τις σημερινές, το έτος 1992 (έτος ανομβρίας), στο ίδιο πεδίο, προέκυψε ότι η διαφορά στάθμης δεν ξεπερνούσε τα 2 m. Η διακύμανση χαρακτηρίζεται ως μικρή, χαρακτηριστικό του τύπου των υδροφόρων της περιοχής έρευνας



— 2000 — καμπύλη ίσης τιμής ηλ. αγωγιμότητας (μS/cm) γεώτρηση παρακολούθησης

Σχήμα 6. Χάρτης με την κατανομή της ηλεκτραγωγιμότητας των νερών των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων της περιοχής Ξυλαγανής - Ίμερου.

Figure 6. Contours of groundwater equal electrical conductivity value of the Xylagani – Imeros area confined aquifers

που διακρίνονται κατά περίπτωση σε ελεύθερους και αβαθείς μερικώς υπό πίεση. Η μορφή των διαγραμμάτων δηλώνει την καλή λειτουργία των υδροφόρων με αναπλήρωσή τους στη διάρκεια του έτους.

Χαρακτηριστικό των 8 <u>πιεζομετρικών χαρτών</u> (2 χάρτες παρουσιάζονται στο σχ. 8), που σχεδιάστηκαν για το χρονικό διάστημα 28/12/1994 – 10/4/1996 με τη μέθοδο παρεμβολής Kriging και το πρόγραμμα Η/Υ Surfer, είναι ότι στο τμήμα της περιοχής έρευνας μεταξύ Πρωτάτου και Αρίσβης, εντοπίζεται σε όλες τις περιόδους ένας αρκετά ευδιάκριτος άξονας τροφοδοσίας με αφετηρία την παλιά κοίτη, ο οποίος διασχίζοντας την περιοχή που εμφανίζει μεγάλο πάχος αποθέσεων (γεωηλεκτρική τομή 1, σχ. 3 – περιοχή 2, θέσεις δειγματοληψίας για κοκκομετρική ανάλυση 1 – 12, σχ. 1 – περιοχή2), στη συνέχεια μετατρέπεται άλλοτε σε άξονα αποστράγγισης και άλλοτε σε άξονα τροφοδοσίας, χαρακτηριστικό της ετερογένειας των υλικών της περιοχής έρευνας. Η διαπίστωση αυτή κρίνεται ως αρκετά ευνοϊκή ως προς την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε αυτό το τμήμα της κοίτης. Επίσης η αραίωση ή πύκνωση των ισοπιεζομετρικών γραμμών ποικίλλει από θέση σε θέση, εικόνα που επιβεβαιώνει την έντονη ετερογένεια των υδροφορέων, όπως προέκυψε από προηγούμενα στοιχεία.

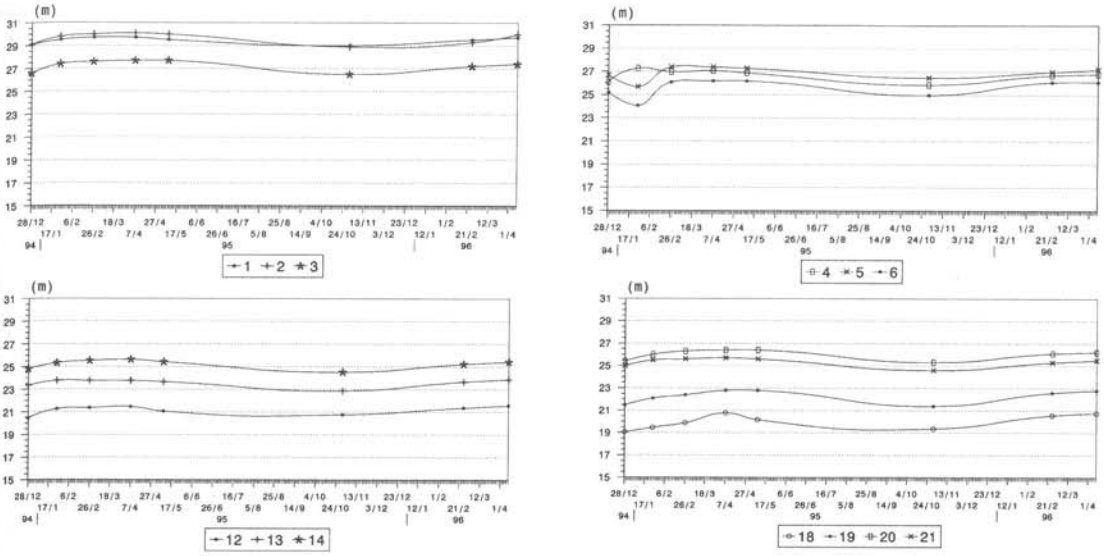
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

<u>*Ιη περιοχή (Ξυλαγανή – Ίμερος)*</u>. Το ερευνούμενο πεδινό τμήμα Ξυλαγανής – Ίμερου φαίνεται ότι σήμερα εξασφαλίζει επαρκώς τις αρδευτικές του ανάγκες από τα υπόγεια νερά της περιοχής για ένα μέσο υδρολογικό έτος αλλά όμως κάτω από συνθήκες υπεράντλησης. Η ποιότητα των υπόγειων νερών όσον αφορά την αβαθή υδροφορία νότια του Ίμερου επηρεάζεται άμεσα από το θαλασσινό νερό όπου σήμερα οι αβαθείς γεωτρήσεις είναι αδρανοποιημένες. Η βαθιά υδροφορία έχει αρχίσει με αργούς ρυθμούς να επηρεάζεται έμμεσα και αυτή από τη θάλασσα λόγω των αρνητικών τιμών του υψόμετρου της στάθμης των υπόγειων νερών σε συνδυασμό με τις υπεραντλήσεις.

Η κατασκευή κατάλληλων έργων τεχνητού εμπλουτισμού, όπως έχει προκύψει από ανάλογες εμπειρίες στην Ελλάδα (Ζυμής, 1994, Θάνος, 1994, Πλιάκας, et al., 1999) ή στο διεθνή χώρο (Κουμαντάκης, 1999, Berger, et al., 1998), μπορεί να συμβάλει θετικά στη μακροχρόνια σημαντική προσπάθεια αντιμετώπισης του φαινομένου της υφαλμύρινσης των υπόγειων νερών. Από την αξιολόγηση όμως και την προσεκτική μελέτη όλων των στοιχείων, των αναλύσεων, των μετρήσεων και των ανάλογων χαρτών για τη διερεύνηση της δυνατότητας ε-

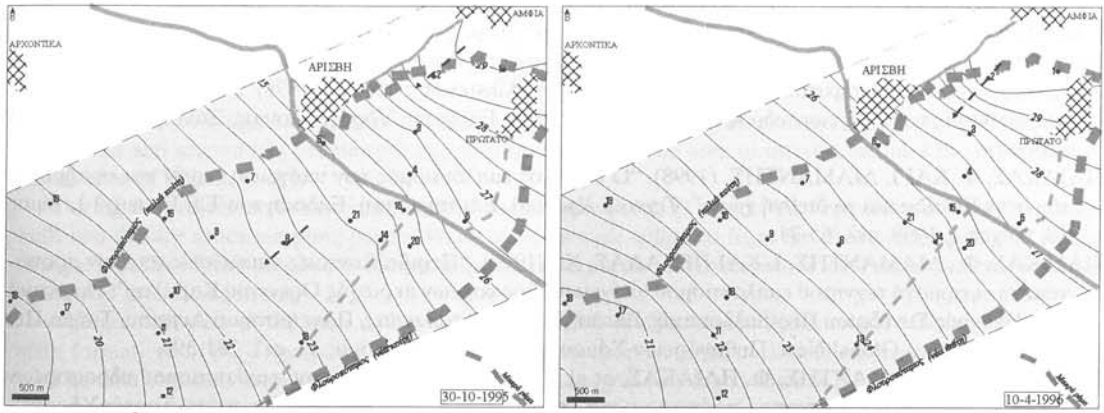
φαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφορέων της περιοχής έρευνας και ιδιαίτερα των επιβαρημένων και επικεντρώνοντας κύρια στην έντονη παρουσία αργιλικού υλικού προκύπτει η εκτίμηση της αδυναμίας εφαρμογής αποτελεσματικού τεχνητού εμπλουτισμού στο ερευνούμενο τμήμα τόσο μέσα από την κοίτη του ποταμού Λίσσου όσο και μέσα από την ανατολική παλιά κοίτη - τάφρο.

2η περιοχή (Πρωτάτο – Αρίσβη). Από την προσεκτική μελέτη και την αξιολόγηση όλων των στοιχείων που



Σχήμα 7. Διαγράμματα μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής Πρωτάτου - Αρίσβης.

Figure 7.Water table fluctuations of the Protato – Arisvi area wells.



•8 γεώτρηση παρακολούθησης – – → κύριος άξονας υπόγειας τροφοδοσίας —21— ισοπιεζομετρική καμπύλη

Σχήμα 8. Πιεζομετρικοί χάρτες του αβαθούς μερικώς υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής Πρωτάτου - Αρίσβης.

Figure 8. Piezometric maps of the shallow semi-confined aquifers at the Protato – Arisvi area.

προέκυψαν από τις σχετικές ερευνητικές εργασίες προκύπτει ότι το βόρειο τμήμα της παλιάς κοίτης του Φλουροπόταμου προσφέρεται για την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού με ευεργετικά από υδρογεωλογική άποψη αποτελέσματα για το ερευνούμενο τμήμα αλλά και για την ευρύτερη περιοχή.

Εκτιμάται ως κύριο και άμεσο βήμα στην προσπάθεια της ολοκλήρωσης των ερευνών αυτών και κυρίως για τον υπολογισμό πλέον και ποσοτικών παραμέτρων που αφορούν τον εμπλουτισμό, η εκτέλεση ενός πειραματικού σταδίου εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού, που θα πρέπει να περιλαμβάνει: (1) την επανενεργοποίηση

της παλιάς κοίτης με ρύθμιση της ροής ελεγχόμενων ποσοτήτων νερού από τη διευθετημένη κοίτη στην παλι στο ύψος της αποκοπής της από αυτή, (2) τη διευθέτηση της παλιάς κοίτης με την κατασκευή αναβαθμών σ βόρειο τμήμα της, για τη συγκράτηση ορισμένης ποσότητας νερού αυξάνοντας έτσι το ρυθμό διήθησης τ νερού της κοίτης προς τους υδροφόρους, (3) την ανόρυξη υδρογεωτρήσεων, τουλάχιστον δυο και βάθους ό μεγαλύτερου από 20 m, στην περιοχή γύρω από το βόρειο τμήμα της κοίτης, που παρουσιάζει όπως αναλύθη στα προηγούμενα ευνοϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες, (4) συνεχείς αντλήσεις των υδρογεωτρήσεων από τ άνοιξη μέχρι το φθινόπωρο και παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης σε γειτονικές γεωτρήσεις, εν το αντλούμενο νερό θα μεταφέρεται σε περιοχές που έχουν άμεση ανάγκη νερού άρδευσης.

Η πιο πάνω μεθοδολογία τεχνητού εμπλουτισμού με την επανενεργοποίηση παλιών αδρανοποιημένων κο τών έχει εφαρμοστεί με επιτυχία και έχει αποδώσει θετικά αποτελέσματα σε άλλες ανάλογες περιπτώσε (Διαμαντής et al., 1999, Πλιάκας et al., 1998). Στην περίπτωση εδώ κρίνεται ως αποτελεσματική στη διερεύν ση της δυνατότητας κατασκευής μόνιμων έργων εμπλουτισμού στην περιοχή, ενώ το κόστος κατασκευής τω έργων είναι σχετικά χαμηλό, η συντήρησή τους δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή ενώ η όλη διαδικασία δεν επηρε άζει άλλες χρήσεις γης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASCE, (1987). "Ground Water Management". Third Edition, ASCE Manuals and Reports on Engineering Prac tice No 40, New York.

BERGER, S.G. AND F.J. GIENTKE, (1998). "Seawater intrusion reversed through artificial recharge beneath th Oxnard Plain, California". Proceedings of the 3rd International Symposium on Artificial Recharge of Groun Water, 21-25/9/1998, Amsterdam, Peters et al. (eds), Balkema, Rotterdam, pp.3-8.

ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Ι., Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ ΚΑΙ Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ, (1999). "Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειο υδροφορέα της περιοχής Βαφέϊκων του νομού Ξάνθης". 5° Υδρογεωλογικό Συνέδριο της Ελληνικής Επ τροπής Υδρογεωλογίας και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 12-14/11/1999, Κύ προς (υπό έκδοση).

ΖΥΜΗΣ, Α., (1994). "Τα υπόγεια νερά της Αργολίδας και ο τεχνητός εμπλουτισμός τους". *Γεωτεχνική Ενημέ ρωση* No. 64, σελ. 70-71, (Σεπτ. 1994).

ΘΑΝΟΣ, Μ., (1994). "Παρατηρήσεις-συμπεράσματα από πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων στ Αργολικό Πεδίο". Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 24-28/11/1993, Πάτρα, σελ.119-134.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ,Γ., (1986). "Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία". Τόμος Β. Εκδοση ΤΕΕ, Αθήνα.

ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., (1999). "Διεθνής εμπειρία σε θέματα τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων νερών με βάσ τις εργασίες του πρόσφατου σχετικού συμποσίου του Amsterdam (21-25/9/1998)". Ημερίδα: 'Ο τεχνητό εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων', Ε.Γ.Ε., Ελλην. Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Ξάνθη 28/5/1999 (υπ έκδοση).

ΠΛΙΑΚΑΣ, Φ. ΚΑΙ Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, (1998). "Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων νερών και εφαρμογέ του στην Ελλάδα και το διεθνή χώρο". *Τεχνικά Χρονικά*, Επιστημονική Έκδοση του Τ.Ε.Ε. σειρά 1, τόμο 18, τεύχος 1, 1998, σελ. 65-74.

ΠΛΙΑΚΑΣ, Φ., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Ι. ΚΑΙ ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ., (1999). "Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την προτει νόμενη εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων περιοχής Ορφανού Καβάλας". Πρακτικ 6ου Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Πε ριβάλλοντος και Global Nest. Πυθαγόρειον Σάμου, 30/8 – 2/9/1999, Τόμος Γ΄, σελ. 381-390.

ΣΑΚΚΑΣ, Ι., Ι., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ, et al., (1998). "Μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέω Ξάνθης - Ροδόπης". Ερευνητικό πρόγραμμα για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας, Τομείς Υδραυλι κών Έργων και Γεωτεχνικής Μηχανικής, Δ.Π.Θ., τεύχη 5, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1933-1940, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1933-1940, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ NO_3 ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ*

Π. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ[1], Π. ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ[1], Β. ΖΟΡΑΠΑΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των υδρογεωλογικών προγραμμάτων του ΙΓΜΕ από το Α' και Β' Κ.Π.Σ.

Η περιοχή ενδιαφέροντος περιλαμβάνει την αστική και περιαστική ζώνη της πόλης της Καλαμάτας.

Για τις ανάγκες των εργασιών, χρησιμοποιήθηκε ένας κάνναβος υδροσημείων αρκετά πυκνός (116), αποτελούμενος από υδρογεωτρήσεις, φρέατα και θέσεις δειγματοληψίας επιφανειακών νερών. Από τα υδροσημεία αυτά ελήφθησαν σε τακτά χρονικά διαστήματα δείγματα νερού για ποιοτικό έλεγχο και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης στους υπόγειους υδροφόρους.

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας δομείται από Τεταρτογενείς αποθέσεις και Νεογενείς σχηματισμούς. Ενώ στα βόρεια και ανατολικά περιθώρια της περιοχής κυριαρχούν οι σχηματισμοί της Ζώνης Τρίπολης και της Ζώνης Πίνδου Ολονού.

Τα στοιχεία των υδροχημικών αναλύσεων αποδεικνύουν ότι στα υπόγεια νερά της αστικής ζώνης της Καλαμάτας η παρουσία των NO_3 είναι πάρα πολύ έντονη, πολλαπλάσια του ανώτατου ορίου των 50 mg/l. Αντίθετα η παρουσία των δύο άλλων δεικτών ρύπανσης του αζώτου, NH^+_4 και NO^-_2 είναι σχεδόν ανύπαρκτη.

Συνδυάζοντας αυτά τα υδροχημικά στοιχεία με τις υδρογεωλογικές δομές της περιοχής ενδιαφέροντος, συμπεραίνεται ότι η προέλευση των NO^-_3 συνδέεται με αστικά λύματα (απορροφητικοί βόθροι, απώλειες του δικτύου αποχέτευσης). Το γεγονός ότι η υδροφορία αναπτύσσεται σε μικρο βάθος βοηθά στο να δημιουργείται ένα έντονο οξειδωτικό υδροχημικό περιβάλλον. Παράλληλα οι περιορισμένες αντλήσεις υπόγειων νερών στην αστική περιοχή δεν διευκολύνει τις διεργασίες απονίτρωσης και εξαερισμού. Η απουσία NO^-_2 και NH^+_4 υποδηλώνει ότι η είσοδος των ρυπογόνων αζωτούχων ενώσεων στο υπόγειο νερό γίνεται σε μικρό βάθος όπου αφθονεί το οξυγόνο.

ABSTRACT

The present investigation was carried out within the frames of the hydrogeological projects of IGME funded by the first and second EU Framework Supporting Programs. The area of interest includes the urban and regional zone of Kalamata city.

During the project implementation, a dense net of water points (116) was used consisting of water boreholes, wells and surface water sampling points. Water samples were collected from the above water points in regular time periods in order to proceed to the water qualitative control. Moreover, water level measurements were also conducted into the aquifers.

The greatest part of the area understudy is structured of Quaternary deposits and Neogene formations, while formations of the Tripolis and Olonos – Pindos zones prevail in the north and eastern margins of the area.

The data obtained from the hydrochemical analyses suggest very high values of $N0_3$ into the groundwater of the urban zone of Kalamata city, exceeding the maximum limits of 50 mg/l. Conversely, the values of NH^+_4 and $N0^-_2$ are negligible.

Combining the above hydrochemical data with the hydrogeological structures occurring at the understudy area, we can conclude that the origin of $N0^-_3$ is connected to the urban wastes (sewers, leakages from the sewage net), given that the water develops in small depth under the surface thus creating a highly oxidizing hydrochemical environment. In parallel, abduction of nitrogen and ventilation conditions are not favoured by the restricted groundwater pumping in the urban areas.

The absence of $N0^-_2$ and NH^+_4 indicates that the intrusion of polluting nitrogen compounds into the groundwater takes place in small depth below the surface where oxygen is abundant.

* HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND PRESENCE OF $N0_3$ INTO THE GROUNDWATER OF THE URBAN AND REGIONAL ZONE AT THE AREA OF KALAMATA

1. ΙΓΜΕ ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ 70 ΑΘΗΝΑ - IGME MESOGHION 70 ATHENS

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΔΙΑ: αστική ζώνη, αλλουβιακές - πλειστοκαινικές αποθέσεις, λύματα, απονίτρωση
KEY WORDS: urban zone, alluvium – pleistocenic deposits, urban wastes, denitration

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις, στα πλαίσια των ερευνητικών υδρογεωλογικών προγραμμάτων του ΙΓΜΕ, με χρηματοδότηση από το Α' και Β' Κ.Π.Σ.

Οι χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες αναπτύχθηκαν οι εργασίες υπαίθρου και εργαστηρίων ήταν δύο: 1992-93 και 1995-96. Συγκεκριμένα οι εργασίες υπαίθρου πραγματοποιήθηκαν προς το τέλος της ξηρής περιόδου (δηλ. Σεπτέμβριο - Οκτώβριο) και στο μέσον της υγρής περιόδου (δηλ. Δεκέμβριο - Ιανουάριο).

Χρησιμοποιήθηκε ένας κάναβος 113 υδροσημείων για τη συλλογή στοιχείων στην ευρύτερη περιοχή Καλαμάτας. Τα υδροσημεία αυτά αποτελούνταν από υδρογεωτρήσεις, φρέατα και θέσεις επιφανειακών απορροών.

Από τον κάναβο αυτό των υδροσημείων ελήφθησαν δείγματα νερού και πραγματοποιήθηκαν σταθμημετρήσεις την ίδια περίοδο (Οκτώβριο και Δεκέμβριο 1992, Σεπτέμβριο 1995 και Ιανουάριο 1996). Σε ένα μόνο περιορισμένο αριθμό υδροσημείων τα οποία βρίσκονται ανατολικά της Καλαμάτας, οι μετρήσεις και οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν την περίοδο 1996 - 97.

Το χρονικό διάστημα, στη διάρκεια του οποίου εκτελούνταν οι εργασίες υπαίθρου την κάθε φορά ήταν διάρκειας 5 ημερών.

Το γεγονός ότι εντός της αστικής ζώνης της Καλαμάτας εντοπίστηκαν πολλά φρέατα και υδρογεωτρήσεις, ακόμα και εντός υπογείων σε κτίρια, επέτρεψε τη δημιουργία ενός πυκνότατου δικτύου σταθμών από υδροσημεία των οποίων οι μεταξύ τους αποστάσεις κατά μέσο όρο δεν ξεπερνούσαν τα 500 μ., τουλάχιστον εντός της αστικής ζώνης.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Μεσσηνιακού Κόλπου, ο οποίος με τη σειρά του οριοθετείται από τη Χερσόνησο της Μάνης προς Α και αυτή της Πυλίας προς τα Δ. Πρόκειται για μια τεκτονική τάφρο που χαρακτηρίζεται από έντονη μεταλπική τεκτονική δράση, η οποία άρχισε στο Μ. Πλειόκαινο (MARIOLAKOS, FOUNTOULIS, LOGOS, LOZIOS - 1989). Μετά το τέλος αυτής της περιόδου συνεχίστηκε εντονότερη με κατακόρυφες κινήσεις και πλήθος κλιμακωτών μεταπτώσεων προς το εσωτερικό της. Το γεγονός αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγματογενών ζωνών και τη σεισμική τους δράση με αποκορύφωμα αυτή στις 13-9-1986 όπου ενεργοποιήθηκαν οι ζώνες Νέδωνα - Κορώνης - Αλαγονίας και Κυπαρισσίας. Αρεόπολης (FYTROLAKIS, N., 1987).

Το περιθώριο της τάφρου αποτελείται από σχηματισμούς του Αλπικού Ορογενούς, οι οποίοι ως αυτόνομες γεωτεκτονικές ενότητες συγκροτούν και την πολύπλοκη τεκτονική δομή της οροσειράς του Ταϋγέτου και είναι η ενότητα της Μάνης, η φυλλιτική ενότητα, η ενότητα Τρίπολης - Γαβρόβου και η ενότητα Ολονού - Πίνδου.

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας (αστική και περιαστική ζώνη Καλαμάτας) δομείται κύρια από τους Μεταλπικούς σχηματισμούς (ΨΩΝΗΣ, Κ., 1983) που είναι οι παρακάτω (σχ. 1):

- Αλλουβιακές αποθέσεις, στις οποίες επικρατούν ασύνδετα υλικά από κροκάλες, λατύπες, χαλίκια, αργίλους και άμμους.
- Πλειστοκαινικές αποθέσεις προερχόμενες κυρίως από υλικά διαβρωτικών διεργασιών στα πετρώματα του υποβάθρου και τα οποία μέσω του ποταμού Νέδωνα και των άλλων χειμάρρων, μεταφέρθηκαν στις χαμηλότερες περιοχές της λεκάνης της πόλης. Αποτελούνται κύρια από κόκκινες - καστανές αργίλους και αργιλούχους άμμους, με παρεμβολές κροκαλοπαγών και λατύπων διαφόρων μεγεθών.

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Με βάση τις γεωλογικές δομές και από την ανάλυση των υδρομετρήσεων που συγκεντρώθηκαν συμπεραίνεται ότι:

α) Στην ευρύτερη περιοχή της Καλαμάτας οι επιμέρους υδροφορίες που αναπτύσσονται εντός των Πλειοκαινικών και Πλειστοκαινικών σχηματισμών, καθώς και εκείνες εντός των ασβεστολίθων, δεν είναι απομονωμένες μεταξύ τους, αλλά υπάρχει πλευρική τροφοδοσία των υδροφοριών των κοκκωδών σχηματισμών από τις καρστικές υδροφορίες. Αυτό επιβεβαιώνεται από την ανάγνωση του χάρτη των ισοπιεζομετρικών καμπυλών (σχ. 2), όπου οι υδραυλικές κλίσεις παρουσιάζουν μια ομαλή μετάβαση από την υδροφορία των καρστικών προς την υδροφορία των κοκκωδών σχηματισμών.

β) Η υδραυλική κλίση που προκύπτει από την ανάλυση των ισοπιεζομετρικών καμπυλών εντός της ζώνης των ασβεστόλιθων και των νεογενών είναι $2^{o}/_{oo}$ περίπου. Ενώ εντός της χαμηλής ζώνης, όπου η υδροφορία

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ NO3- ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΗΜΕΡ/ΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)	ΥΔΡΟΣ ΗΜΕΙΟ	NO3- (ppm)
Οκτ. 92	Φ1	24,8	Φ14	86,8	Φ27	24,8	Φ40	248	Γ53		Γ74	31	Φ87	111,6	Γ100	
Δεκ. 92		21,7		124		31		322,4				24,8		124		
Σεπ. 95				135,4		19,84		218,86		217		9,3		155		1,24
Ιαν. 96		14,88		114,7		13,02		248		308,14				118,42		0
Οκτ. 92	Γ2	24,8	Φ15	93	Φ28	99,2	Φ41	198,4	Γ57		Γ75	1,24	Φ88	55,8		
Δεκ. 92		49,6		80,6		155		148,8				6,2		74,4		
Σεπ. 95		31		78,12		86,8		111,6		68,2		9,3		75,02		
Ιαν. 96		48,98		109,12		155		98,58		21,7		7,44		34,72		
Οκτ. 92	Φ3	124	Φ16	279	Φ29	164,3	Φ42	155	Γ62		Γ76	24,8	Φ89	21,7		
Δεκ. 92		186		297,6		151,9		105,4				3,1		24,8		
Σεπ. 95		108,5		285,2		142,6		210,8		18,6		15,5		24,8		
Ιαν. 96		120,9		341		282,1		156,24		0		0,62		8,68		
Οκτ. 92	Φ4	71,3	Φ17	86,8	Φ30		Φ43	96,72	Γ63		Γ77	0	Φ90	55,8		
Δεκ. 92		102,3		99,2				78,74				0		31		
Σεπ. 95		108,5		93		20,46		105,4		3,1		0		77,5		
Ιαν. 96		76,88		108,5		21,7		71,92		0		4,34		14,88		
Οκτ. 92	Φ5	31	Φ18	229,4	Φ31	106,02	Φ44	0	Γ64		Γ78	6,2	Φ91	99,2		
Δεκ. 92		24,8		186		148,8		74,4				12,4		111,6		
Σεπ. 95		34,1		220,1		155		122,14		49,6		9,3		155		
Ιαν. 96		21,7		197,78		213,28		115,94		28,52		1,86		85,56		
Οκτ. 92	Φ6	49,6	Φ19	111,6	Φ32	43,4	Φ45	136,4	Γ65	12,4	Γ79	12,4	Φ92	49,6		
Δεκ. 92		55,8		99,2		49,6		124		15,5		12,4		52,7		
Σεπ. 95		93		108,5		46,5		77,5		6,2		9,3		77,5		
Ιαν. 96		119,66		125,86		41,54		70,68		0		4,96		83,08		
Οκτ. 92	Φ7	0	Φ20	62	Φ33	223,2	Φ46	119,04	Γ66		Γ80	34,1	Γ93	49,6		
Δεκ. 92		6,2		18,6		198,4		117,8				49,6		49,6		
Σεπ. 95		0		46,5		226,3		115,94		0		74,4		93		
Ιαν. 96		1,86		42,16		339,14		173,6		0,62		39,06		41,54		
Οκτ. 92	Φ8	62	Φ21		Φ34		Φ47		Γ67		Γ81		Γ94	37,2		
Δεκ. 92		55,8												24,8		
Σεπ. 95		52,7		117,8		489,8		173,6		9,3		2,48		49,6		
Ιαν. 96		58,9		106,64		430,9		212,66		4,34		0		35,96		
Οκτ. 92	Φ9	124	Φ22	52,7	Φ35	49,6	Φ48	79,36	Γ68		Γ82		Γ95	49,6		
Δεκ. 92		155		43,4		68,2		78,74						24,8		
Σεπ. 95		127,1		80,6		155		87,42		0		3,1		37,2		
Ιαν. 96		228,16		59,52		198,4		128,96		0,62		4,96		11,78		
Οκτ. 92	Φ10	55,8	Φ23	136,4	Φ36	68,2	Φ49	49,6	Φ70	0	Γ83		Γ96			
Δεκ. 92		43,4		9,3		117,8		80,6		0						
Σεπ. 95		58,9				53,94		117,8		15,5		18,6		0,62		
Ιαν. 96		88,04		218,86		288,3		120,9		12,4		9,3		0,62		
Οκτ. 92	Φ11	155	Φ24	446,4	Φ37		Γ50		Γ71	124	Φ84	6,2	Φ97	55,8		
Δεκ. 92		192,2		223,2						113,46		1,24		49,6		
Σεπ. 95		198,4		316,2		185,38		155		49,6		9,3		49,6		
Ιαν. 96		169,26				235,6		204,6		81,84		10,54		43,4		
Οκτ. 92	Φ12	124	Φ25		Φ38	117,8	Γ51		Γ72	0	Φ85	12,4	Φ98	62		
Δεκ. 92		148,8				99,2				1,24		24,8		115,32		
Σεπ. 95		172,98		35,34		114,7		12,4		27,9		21,7		83,7		
Ιαν. 96		136,4		39,68		103,54		6,82		26,04		18,6		32,86		
Οκτ. 92	Φ13	186	Φ26	6,2	Φ39	43,4	Φ52		Γ73	3,1	Φ86	269,7	Γ99	161,2		
Δεκ. 92		403		18,6		43,4				3,1		279		155		
Σεπ. 95		155		0,62		37,2		517,08		21,7		235,6		192,2		
Ιαν. 96		359,6		17,36		37,2		308,14		5,58		122,14		164,92		

Φ:φρέατα

Γ:γεωτρήσεις

πίνακας Ι

αναπτύσσεται σε πλειστοκαινικές και ολοκαινικές αποθέσεις, η υδραυλική κλίση εξασθενεί και υποδηλώνει ότι επικρατούν συνθήκες περιορισμένης κίνησης, σχεδόν στασιμότητας του υπόγειου νερού.

4. ΓΕΝΙΚΑ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Ελήφθησαν δείγματα νερού από 92 υδροσημεία (σχ.1). Με βάση το διάγραμμα Piper οι υδροχημικοί χαρακτήρες των υπόγειων νερών της περιοχής ενδιαφέροντος κατανέμονται μεταξύ των "χλωριούχων - θειϊκών - ασβεστούχων - μαγνησιούχων και δισανθρακικών - ασβεστούχων - μαγνησιούχων" (σχ.3).

Από την κατανομή των υδροχημικών χαρακτήρων των δειγμάτων στο διάγραμμα Piper προκύπτουν τρεις ομαδοποιήσεις. Η πρώτη ομάδα κατανέμεται στο "πεδίο" των χλωριούχων - θειικών - ασβεστούχων και μαγνησιούχων νερών. Η δεύτερη ομάδα δειγμάτων συγκεντρώνεται στο "πεδίο" των δισανθρακικών μαγνησιούχων και η τρίτη βρίσκεται στα όρια των "πεδίων" δισανθρακικών μαγνησιούχων - δισανθρακικών ασβεστούχων. Η τελευταία ομάδα αντιπροσωπεύει ως επί το πλείστον υδροσημεία εκτός αστικής ζώνης και απομακρυσμένα από την ακτογραμμή. Αντίθετα η πρώτη και η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει δείγματα από υδροσημεία ως επί το πλείστον από την αστική ζώνη όπου εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες επιβαρύνσεις στην ποιότητα των υπόγειων νερών.

5. ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές δειγματοληψιών και ισάριθμων υδροχημικών αναλύσεων. Η πρώτη και η δεύτερη σειρά τον Οκτώβριο και τον Δεκέμβριο του 1992, η τρίτη και η τέταρτη σειρά τον Σεπτέμβριο 1995 και τον Ιανουάριο 1996.

Οι αναλύσεις έγιναν σε δείγματα που ελήφθησαν από 92 υδροσημεία του δικτύου και προσδιορίστηκαν οι τιμές σε τρεις δείκτες ρύπανσης: NO^-_3, NO^-_2, NH^+_4, οι οποίοι έχουν γενικό χαρακτήρα και παρουσιάζουν ως γνωστόν μεγάλη κινητικότητα μέσα στο υπόγειο νερό.

ΠΙΝ. ΙΙ περιεκτικότητα NO3- σε δείγματα υπόγειων νερών ευρύτερης περιοχής Καλαμάτας

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	NO3 (ppm)
Γ107	Οκτ-96	<1,86
Γ108	Οκτ-96	<1,86
Γ109	Οκτ-96	<1,86
Γ110	Οκτ-96	<1,86
Γ111	Οκτ-96	<1,86
Γ112	Οκτ-96	48,36
Γ118	Οκτ-96	1,24
Γ113	Οκτ-96	96,72
Γ114	Οκτ-96	<1,86
Γ115	Οκτ-96	<1,86
Γ116	Οκτ-96	<1,86
Γ117	Οκτ-96	8,68
Γ120	Οκτ-96	<1,86
Γ124	Οκτ-96	<1,86
Γ107	Μαρ-97	<1,86
Γ108	Μαρ-97	39,68
Γ109	Μαρ-97	<1,86
Γ110	Μαρ-97	<1,86
Γ111	Μαρ-97	<1,86
Γ112	Μαρ-97	52,7
Γ113	Μαρ-97	79,36
Γ114	Μαρ-97	<1,86
Γ115	Μαρ-97	<1,86
Γ116	Μαρ-97	<1,86
Γ117	Μαρ-97	3,72
Γ118	Μαρ-97	8,06
Γ119	Μαρ-97	0,62
Γ120	Μαρ-97	11,16
Γ121	Μαρ-97	8,68
Γ124	Μαρ-97	8,68

Από όλο αυτό το πλήθος των 273 αναλύσεων (ΠΙΝ. Ι) προκύπτει ότι:

α) Επιβαρύνσεις από NO^-_2 εντοπίστηκαν σε ελάχιστα δείγματα, σποραδικά. Ο δε τρόπος εμφάνισης των υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν μόνιμες εστίες μόλυνσης. Το χαμηλότερο επίπεδο ανίχνευσης στις αναλύσεις των δειγμάτων ήταν 0,015 mg/l.

β) Το NH^+_4 δεν εντοπίστηκε σε κανένα δείγμα νερού με χαμηλότερο επίπεδο εργαστηριακής ανίχνευσης 0,007 mg/l.

γ) Τα NO^-_3 έχουν έντονη παρουσία στα υπόγεια νερά ιδιαίτερα στην αστική ζώνη της Καλαμάτας, όπου οι τιμές ξεπερνούν τα 100 mg/l σε όλα τα δείγματα νερού όλων των περιόδων δειγματοληψίας

ΠΙΝ. ΙΙΙ περιεκτικότητα NO3- σε δείγματα επιφανειακών νερών ευρύτερης περιοχής Καλαμάτας

ΚΩΔ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΗΜ/ΝΙΑ ΔΕΙΓ/ΨΙΑΣ	NO3 (ppm)
60	Οκτ-96	<1,86
61	Οκτ-96	<1,86
105	Οκτ-96	6,2
106	Οκτ-96	<1,86
102	Οκτ-96	1,86
103	Οκτ-96	<1,86
104	Οκτ-96	<1,86
60	Μαρ-97	<1,86
61	Μαρ-97	<1,86
102	Μαρ-97	<1,86
103	Μαρ-97	<1,86
104	Μαρ-97	8,68
105	Μαρ-97	8,68
106	Μαρ-97	6,82

Ενώ πάνω από το όριο των 50 mg/l βρίσκονται οι τιμές αρκετών δειγμάτων από υδροσημεία της περιαστικής ζώνης της Καλαμάτας. Κάτι ανάλογο έχει επισημανθεί και σε παλαιότερες ανάλογες ερευνητικές εργασίες (ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ- ΤΗΝΙΑΚΟΣ- ΛΑΖΑΡΟΥ- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, 1997).

Ελάχιστα υδροσημεία από τον κάναβο, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε είναι εντελώς απαλλαγμένα από την παρουσία NO^-_3. Οι "καθαρές" περιοχές εντοπίζονται εκτός αστικής ζώνης. Πρόκειται για τις περιοχές βορειοδυτικά, βόρεια και ανατολικά της Καλαμάτας, αγροτικές, ημιαγροτικές και δασικές (σχ. 4). Στα υδροσημεία 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 120, 121, 123, 124, τα οποία βρίσκονται εκτός αστικής ζώνης της Καλαμάτας, οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τον Οκτώβριο 1996 και τον Απρίλιο 1997 (ΠΙΝ. ΙΙ).

Αυτή η χρονική διαφοροποίηση σε σχέση με τις περιόδους δειγματοληψίας των άλλων υδροσημείων (ΠΙΝ. Ι) δεν θα πρέπει να θεωρείται ουσιαστική στην εξαγωγή συμπερασμάτων προς τις καθαρές περιοχές.

Στα υδροσημεία αυτά η παρουσία των NO^-_3 είναι σχεδόν μηδενική εκτός του υδροσημείου 113, στο οποίο οι τιμές διατηρούνται πάνω από τα 70 mg/l.

Η έντονη και σταθερή παρουσία NO^-_3 στα υπόγεια νερά της αστικής ζώνης της Καλαμάτας, απεικονίζεται σε δύο χάρτες (σχ. 4 και 5) διαφορετικών περιόδων, ξηρής και υγρής. Η ρύπανση αυτή πιθανά οφείλεται σε λύματα αστικής προέλευσης: απορροφητικούς βόθρους, διαρροές δικτύου αποχέτευσης, απόρριψη λυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους, παρόλο που λειτουργεί βιολογικός καθαρισμός.

Το μικρό βάθος του υδροφόρου, ο οποίος αναπτύσσεται εντός των πλειστοκαινικών αποθέσεων, ευνοεί σημαντικά την κατείσδυση των ρύπων και προσφέρει ταυτόχρονα ένα υψηλό οξειδωτικό περιβάλλον για τις αζωτούχες ενώσεις. Γι' αυτό και δεν υπάρχουν περιθώρια αμμωνιοποίησης. Απόδειξη ότι στις αναλύσεις το NH^+_4 βρίσκεται σε τιμές μη ανιχνεύσιμες (<0,007 mg/l) σε όλα τα δείγματα. Μια εξίσου σημαντική παρατήρηση είναι ότι η απουσία NO^-_2 στις επιβαρημένες με NO^-_3 ζώνες, υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει διαδικασία ελάττωσης του δυναμικού οξειδοαναγωγής, η οποία προκαλεί την σταδιακή "απονίτρωση" (NO^-_3 ® NO^-_2 ® N_2). Σ' αυτό συμβάλλει εκτός από το μικρό βάθος του υπόγειου νερού και η απουσία συχνών αντλήσεων, διαδικασία η οποία θα διευκόλυνε την εξαέρωση του αζώτου. Εξάλλου οι αντλήσεις υπόγειων νερών είναι πολύ περιορισμένες επιβεβαιώνεται και από την απουσία φαινομένων υφαλμύρωσης από θαλάσσια διείσδυση (σχ.6), πλην εκείνης η οποία οφείλεται σε φυσικά αίτια.

Η μεταφορά ρύπων μέσω των επιφανειακών απορροών από περιοχές πιο απομακρυσμένες θα πρέπει να αποκλειστεί για δύο λόγους: πρώτον γιατί οι λεκάνες απορροής εκτείνονται σε περιοχές όπου δεν υφίστανται αγροτικές καλλιέργειες, αλλά ούτε και αστικές δραστηριότητες και δεύτερον όλες οι δειγματοληψίες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε επιφανειακά νερά σε συγκεκριμένους σταθμούς παρακολούθησης (υδροσημεία 60, 61, 102, 103, 104, 105, 106) (σχ. 1) απέδειξαν ότι η παρουσία των NO^-_2 είναι πολύ περιορισμένη έως μηδενική (ΠΙΝ.ΙΙΙ).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι υπόγειοι υδροφόροι στην αστική ζώνη Καλαμάτας δέχονται μία μόνιμη επιβάρυνση από αστικά λύματα, τα οποία καταλήγουν στα υπόγεια νερά είτε μέσω απορροφητικών βόθρων και απωλειών του δικτύου αποχέτευσης, είτε με κατείσδυση λόγω απόρριψης λυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους.

Το γεγονός ότι οι τιμές των NO^-_3 διατηρούνται μόνιμα υψηλές σημαίνει ότι αφενός υφίστανται μόνιμες πηγές ρύπανσης και αφετέρου ότι οι διεργασίες αυτοκαθαρισμού των υπόγειων νερών είναι περιορισμένες.

Δεν παρατηρούνται φαινόμενα διαρκούς συσσώρευσης, κι' αυτό προκύπτει από τις ακανόνιστες διαφοροποιήσεις των τιμών των NO^-_3.

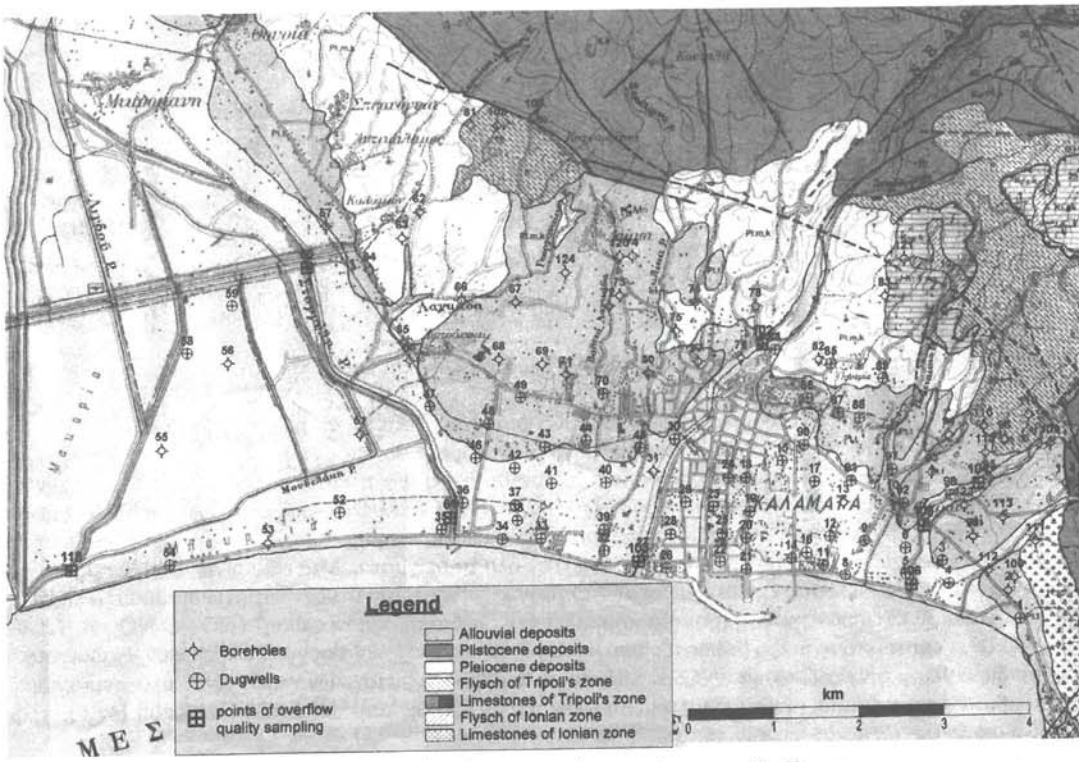
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ, Ν., ΤΗΝΙΑΚΟΣ, Λ., ΛΑΖΑΡΟΥ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1997): Νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης υδροφόρων οριζόντων Πελοποννήσου. Πρακτικά 4ου Υδρογεωλογικού συνεδρίου με έμφαση σε θέματα ποιότητας και μόλυνσης-ρύπανσης του υπόγειου νερού. Σελ. 163-178, 14-16 Νοεμβρίου, Θεσσαλονίκη.

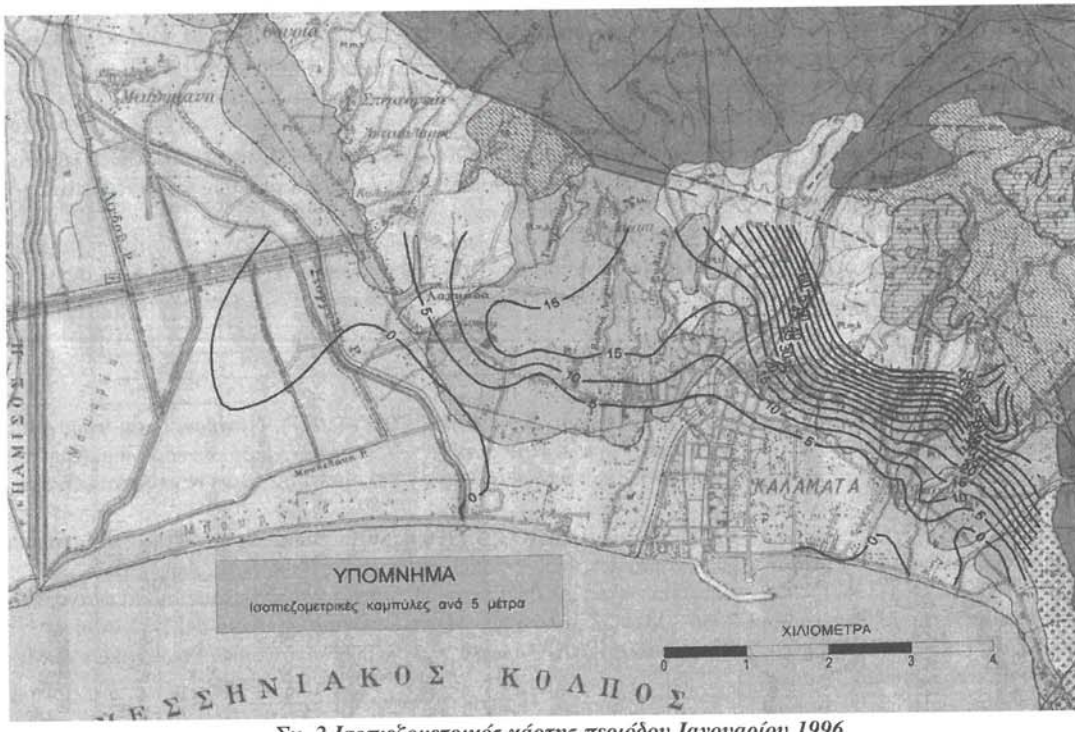
MARIOLAKOS, I., FOUNTOULIS, I., LOGOS, E., LOZIOS, S. (1989): Surface faulting caused by the Kalamata (Greece) earthquakes (13-9-86). Tectonophysics, 163, 197-203, Elsevier Sc. Publ. B.V., Amsterdam.

ΦΥΤΡΟΛΑΚΗΣ, Ν., (1987) : "Οι σεισμοτεκτονικές συνθήκες στη Μεσσηνία και τα μετασεισμικά φαινόμενα των σεισμών της 13 Σεπτεμβρίου 1986". Μεταλλειολογικά - Μεταλλουργικά Χρονικά 64, 7-12, Αθήνα.

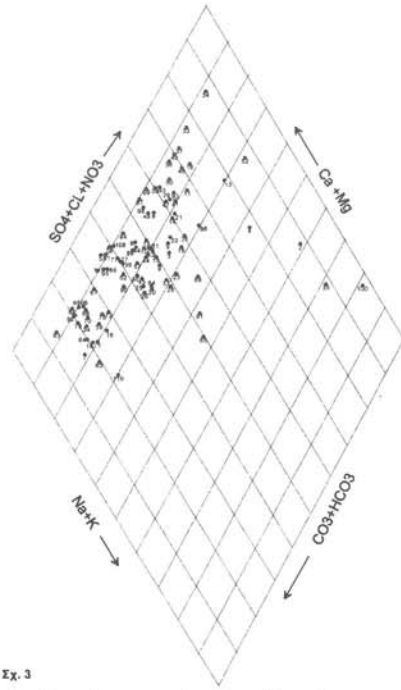
ΨΩΝΗΣ, Κ. (1987) : "Γεωλογικός χάρτης φύλλο ΚΑΛΑΜΑΤΑ, κλ.1:50.000". Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών. Αθήνα.



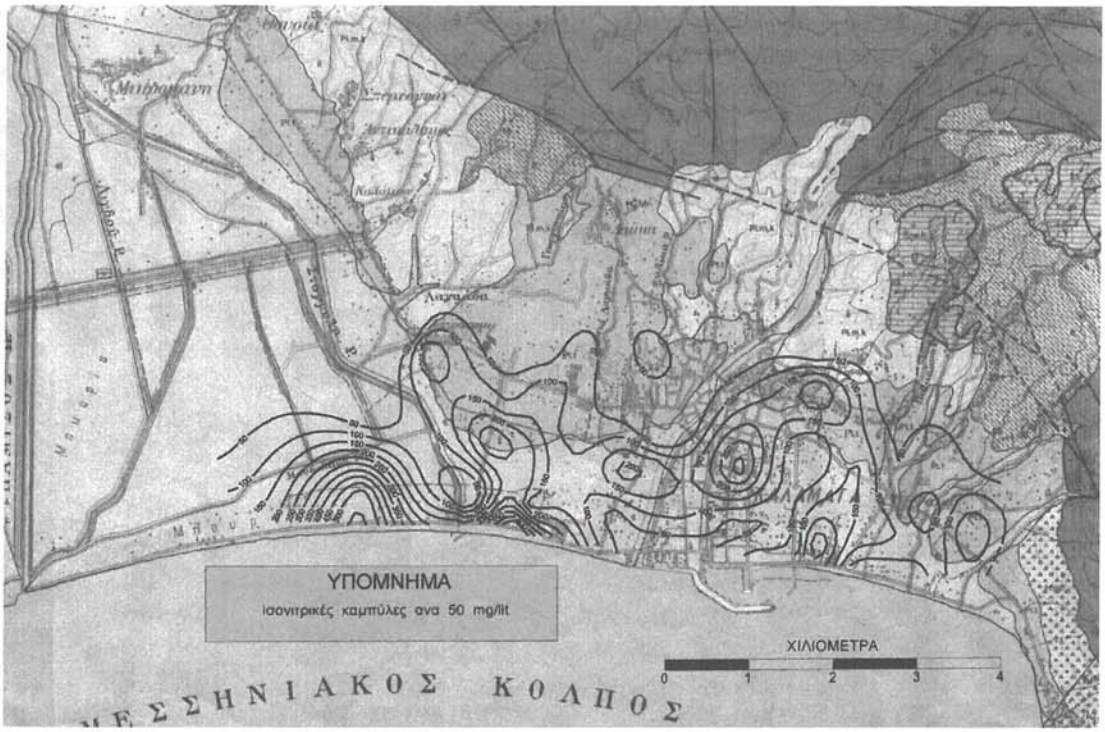
Σχ. 1 Γεωλογικός χάρτης και υδροσημεία παρακολούθησης
Fig. 1 Geological map and hydropoints of control



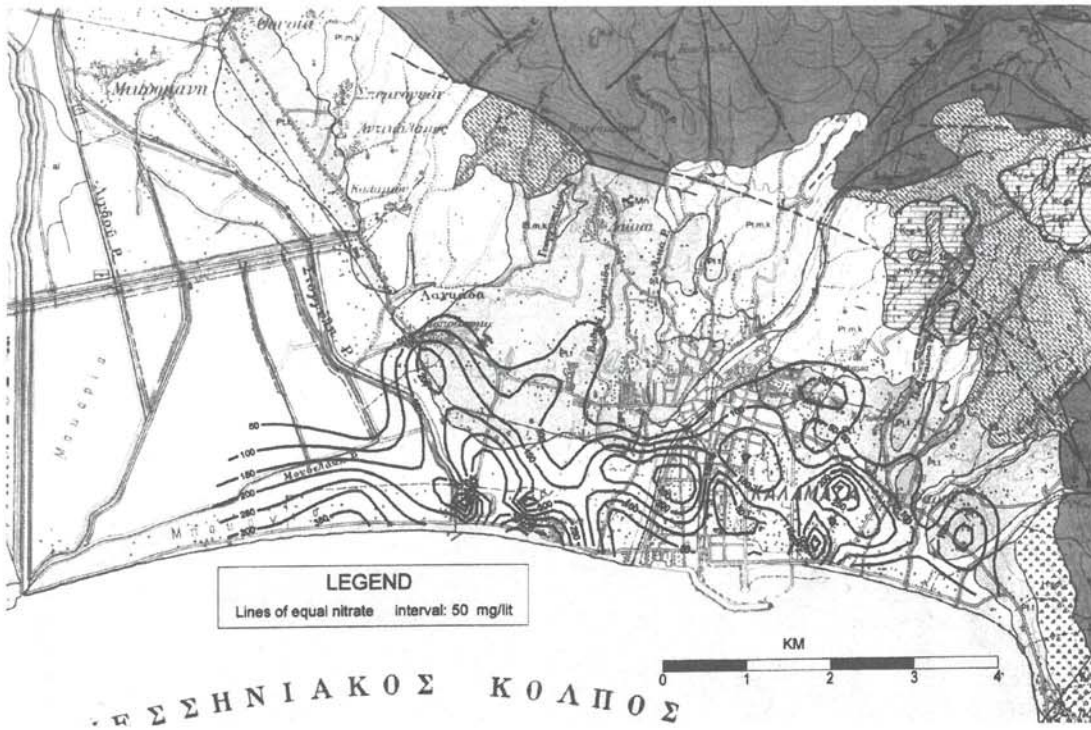
Σχ. 2 Ισοπιεζομετρικός χάρτης περιόδου Ιανουαρίου 1996
Fig. 2 Map of equal-potential lines of January 1996



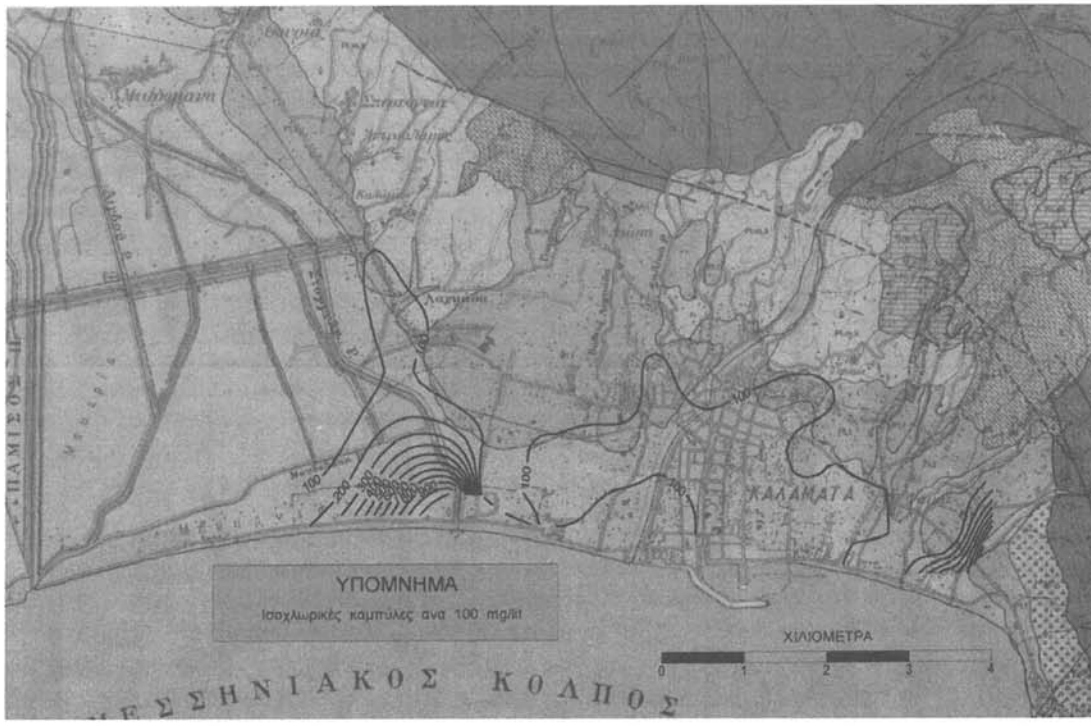
Σχ. 3. Ταξινόμηση δειγμάτων νερού από τους υπόγειους υδροφόρους ευρύτερης περιοχής Καλαμάτας.
Fig.3. Sorting of water samples from aquifers of greater kalamata.



Σχ. 4 Χάρτης ισονιτρικών καμπυλών περιόδου Σεπτεμβρίου 1995
Fig. 4 Map of equal nitrate's lines (period: September 1995)



Σχ. 5 Χάρτης ισονιτρικών καμπυλών περιόδου Ιανουαρίου 1996
Fig. 5 Map of equal nitrate's lines (period: Januaryr 1996)



Σχ. 6 Χάρτης ισοχλώριων καμπυλών περιόδου Σεπτεμβρίου 1995
Fig. 6 Map of lines of equal cloride (period: September 1995)

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1941-1949, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1941-1949, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ – ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ*

Χ. ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ[1], Φ. ΠΑΥΛΟΥΔΑΚΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία ποιότητας του νερού των αντλιοστασίων του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου και του ρέματος Σουλού, το οποίο αποτελεί το φυσικό αποδέκτη της μεγαλύτερης ποσότητας των αντλούμενων νερών. Τα παραπάνω στοιχεία αντιπαραβάλλονται με στοιχεία ποιότητας του νερού των υδρογεωτρήσεων της ίδιας περιοχής ώστε να διαπιστωθεί το μέγεθος της ποιοτικής υποβάθμισης που συντελείται από την εισροή υπογείου νερού στις ανοιχτές εκσκαφές των ορυχείων, καθώς και η συμμόρφωση ή μη με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους. Τέλος, παρουσιάζονται εναλλακτικές μέθοδοι για την αντιμετώπιση των υπερβάσεων των τιμών συγκεκριμένων παραμέτρων ποιότητας του νερού, σε σχέση με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους.

SUMMARY

The present contribution concerns the quality of the water pumped from the open-pit mines of Ptolemais – Amynteon Lignite Centre to the nearby river Soulou. The pumped water, which is collected in pumping stations located on the bottom of each mine, enters the open-pit as precipitation and mainly as groundwater inflow. Therefore, the comparison of the quality characteristics of the groundwater and the water of the pumping stations gives an estimate of the quality degradation that occurs due to the water flow in the mine.

The lab analyses conducted the last 5 years have proved that in the most of the cases the water quality meets the environmental standards that are in force. Some exceptions occur for certain parameters, such as suspended solids, total dissolved solids and conductivity and occasionally, for hydrocarbons concentration and color.

Among the alternative water treatment methods, which are presented in the following paragraphs, the construction of sedimentation basins is considered enough for reducing the concentration of suspended solids, total dissolved solids, and the conductivity of the water that outflows from the pumping stations to the river Soulou.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ποιότητα νερού, Περιβαλλοντική νομοθεσία, Λιγνίτης, Υπαίθρια ορυχεία, ΛΚΠ-Α, ρέμα Σουλού, λίμνη Βεγορίτιδα.

KEY WORDS: Water quality, Environmental Law, Lignite, Open-pit mines, LCP-A, River Soulou, Lake Vegoritis.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) αποτελείται από 5 υπαίθρια ορυχεία με συνολική ετήσια παραγωγή λιγνίτη που υπερβαίνει τα $50X10^6$ tn και συνολικές εκσκαφές της τάξης των $235X10^6$ m^3. Τα παραπάνω μεγέθη είναι αρκετά για να γίνει αντιληπτό ότι τα μεγάλου μεγέθους ορύγματα των ορυχείων, κυρίως αυτών που αναπτύσσονται σε μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, και οι αποθέσεις αγόνων υλικών τροποποιούν σημαντικά τη ροή των επιφανειακών και υπογείων νερών, μεταβάλλοντας παράλληλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Κάθε ορυχείο διαθέτει ένα κεντρικό αντλιοστάσιο, αποτελούμενο από μια ανοιχτή εκσκαφή, στη χαμηλότερη τοπογραφικά θέση, και ένα μόνιμο αντλητικό συγκρότημα. Κάθε αντλιοστάσιο συγκεντρώνει νερά προερχόμενα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και κυρίως από τις εισροές υπογείου νερού στο όρυγμα του ορυχείου. Τα νερά των αντλιοστασίων όλων των ορυχείων, εκτός του Ορυχείου Αμυνταίου, αποβάλλονται στο παρακείμενο ρέμα Σουλού που διασχίζει την εξεταζόμενη περιοχή από το Νότο προς το Βορά (Εικ. 1).

* MONITORING AND CONTROL OF THE SURFACE AND GROUND WATER QUALITY IN THE GREATER AREA OF THE MINES OF PTOLEMAIS – AMYNTEON LIGNITE CENTRE

1. Section of Environmental Protection and Land Reclamation, Ptolemais – Amynteon Lignite Centre, Ptolemais 502 00, Greece

Τα παραπάνω στοιχεία αποδεικνύουν ότι η διερεύνηση της ποιότητας των νερών των αντλιοστασίων κρίν ται επιβεβλημένη αφού επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του νερού του ρέματος Σουλού και κατά δεύτε λόγο την ποιότητα του νερού της λίμνης Βεγορίτιδας, στην οποία εκβάλλει το ρέμα Σουλού.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Το ΛΚΠ-Α καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης Πτολεμαίδας - Αμυντ ου, τα πεδινά τμήματα της οποίας έχουν μέσο απόλυτο υψόμετρο 620 m. Το ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίν ται από 400 mm στα πεδινά έως 1200 mm στα ορεινά (ΤΟΛΙΚΑΣ 1997, ΑΝΚΟ ΑΕ 1992, ΕΘΙΑΓΕ ΠΤΟΛ ΜΑΙΔΑΣ 1997). Ο τελικός αποδέκτης όλων των επιφανειακών νερών της ευρύτερης υδρολογικής λεκάν Πτολεμαΐδας, κατά συνέπεια και των νερών που παράγονται από τις δραστηριότητες της ΔΕΗ (ορυχεία ΛΚΠ Α και Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί) είναι το ρέμα Σουλού, μήκους 30 km περίπου που όπως προαναφέρθηκε ε βάλλει στη λίμνη Βεγορίτιδα. Τα νερά του ορυχείου Αμυνταίου και του ΑΗΣ Αμυνταίου εκβάλλουν στη λίμ Πετρών, τα νερά της οποίας με τη σειρά τους εκφορτίζονται προς τη λίμνη Βεγορίτιδα, μέσω καρστικής διόδ και τάφρου κοντά στο χωριό Αγ. Παντελεήμονας.

Αναλυτικότερα, σε ότι αφορά τις δραστηριότητες της ΔΕΗ, ο συνολικός ετήσιος αντλούμενος όγκος νερ από τα αντλιοστάσια των ορυχείων ανέρχεται σε $15X10^6$ m^3, από τα οποία τα $9X10^6$ m^3 αποβάλλονται στο ρέμ Σουλού (ορυχεία λεκάνης Πτολεμαΐδας). Τα υπόλοιπα $6X10^6$ m^3 που προερχόμενα από το ορυχείο Αμυνταί και αποβάλλονται στα αρδευτικά κανάλια της λεκάνης Αμυνταίου με τελικό αποδέκτη τη λίμνη Πετρών. Τ επεξεργασμένα υγρά απόβλητα των ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου και Καρδιάς, μέσης ετήσιας παροχής $12X10^6$ m αποβάλλονται στο ρέμα Σουλού ανάντη του τμήματος των ορυχείων, ενώ του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας, παροχ $5X10^6$ m^3, στο κατάντη των ορυχείων τμήμα του ρέματος Σουλού. Η μέση ετήσια παροχή του ρέματος Σουλ κατάντη του ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ ξεπερνά τα $20X10^6$ m^3 (ΔΕΗ/ΛΚΠ-Α 1999).

Σε ότι αφορά τους υδρογεωλογικούς σχηματισμούς, οι σημαντικότεροι είναι τα νεογενή ιζήματα της λεκ νης και οι καρστικοί τριαδικοϊουρασικοί ασβεστόλιθοι της περιορεινής ζώνης Βερμίου, Ασκίου, Βέρνου κ Βόρρα (ΥΔΡΟΓΑΙΑ 1980, ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ 1982,ΣΤΑΜΟΥ 1991, ΜΕΛΑΔΙΩΤΗΣ 1996). Η σημ ντικότερη υδροφορία αναπτύσσεται κυρίως εντός των υπερκείμενων τεταρτογενών χαλαρών πολυστρωματ δών υδροφορέων των επιμέρους υδρογεωλογικών υπολεκανών που διαχωρίζονται μεταξύ τους από μεγάλ άλματος μεταπτώσεις και εξάρματα, τα οποία διαμορφώνουν και καθορίζουν τις χαρακτηριστικές μορφοτ κτονικές δομές των παραπάνω υπολεκανών, τα επιφανειακά σύνορά τους, καθώς επίσης και τα υπόγεια υδρ κριτικά σύνορά τους. Η τροφοδοσία των υδροφορέων οφείλεται κυρίως στην κατείσδυση - διήθηση του μετε ρικών κατακρημνισμάτων και μερικώς στην πλευρική τροφοδοσία από τις καρστικές περιορεινές ζώνες τ λεκάνης.

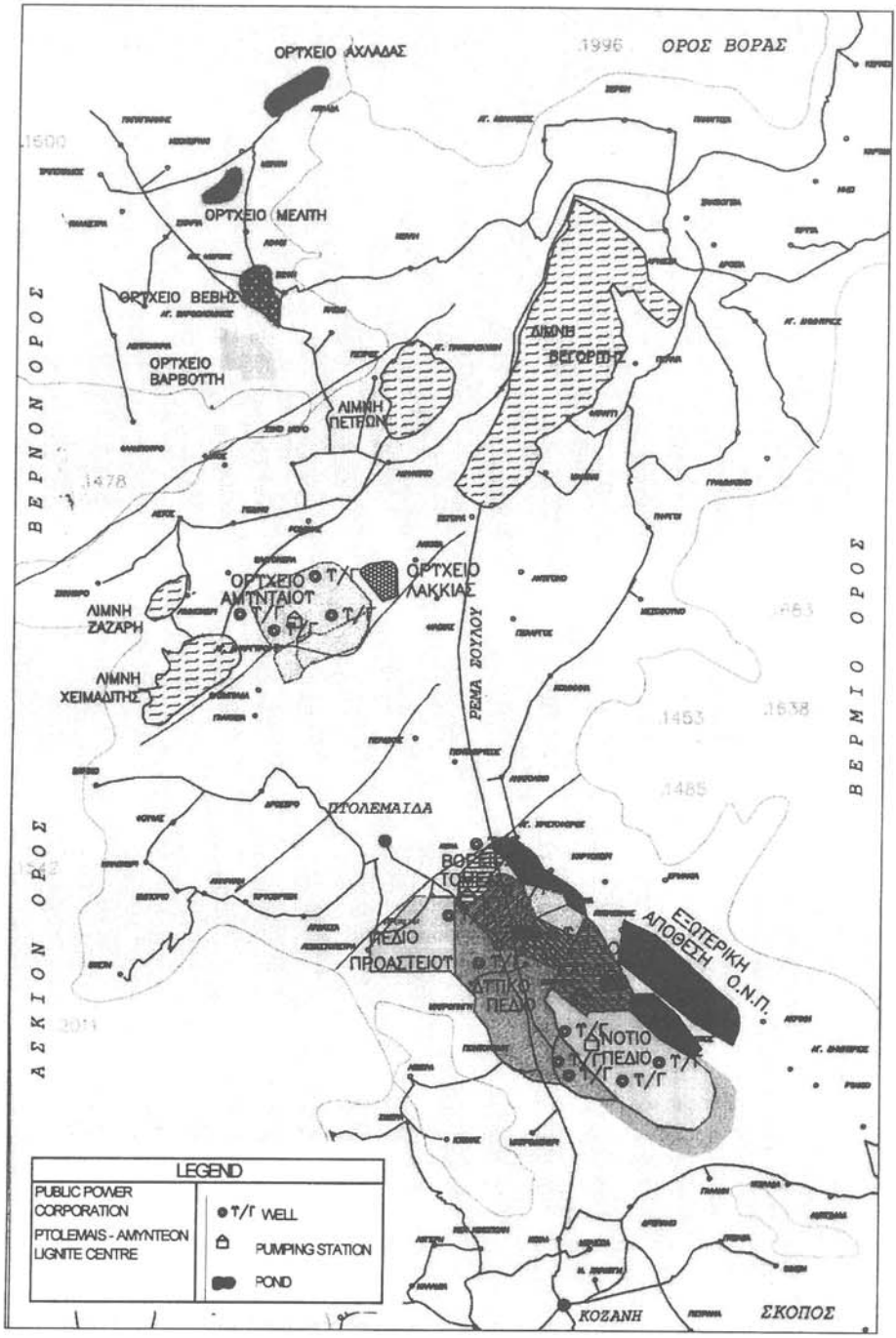
3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΚΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗ ΡΙΟΤΗΤΑ

Οι εξορυκτικές δραστηριότητες λιγνίτη που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή Πτολεμαΐδας μεταβά λουν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τόσο των επιφανειακών νερών, όσο και των υπογείων υδροφ ρων.

Επιφανειακά νερά

Τα προβλήματα στη διαχείριση των επιφανειακών νερών αυξάνονται καθώς αυξάνεται η έκταση που κατ λαμβάνει κάθε υπαίθρια εκμετάλλευση λιγνίτη, η οποία αποτελεί ουσιαστικά μία τεχνητά διαμορφωμένη δρολογική λεκάνη. Η εξορυκτική δραστηριότητα μεταβάλλει κύρια στην επιφανειακή ροή και την συγκράτη των νερών που φτάνουν στο έδαφος μέσω των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με τους ακόλουθους τρ πους:

- Με την τροποποίηση της ροής των νερών, λόγω της κατασκευής τεχνητών καναλιών ή τη διευθέτηση τ ροής φυσικών ρεμάτων που προϋπήρχαν στην περιοχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διευθέτ ση της κοίτης του ρέματος Σουλού προκειμένου να εξυπηρετηθεί η ανάπτυξη του ορυχείου Νοτίου Πεδί και να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει διαφυγή νερού από το ρέμα προς το όρυγμα του ορυχείου.
- Με την αύξηση της ροής του ρέματος Σουλού και των αποστραγγιστικών τάφρων του ορυχείου Αμυνταίο τα οποία δέχονται τα νερά που αντλούνται από τις γεωτρήσεις υδρολογικής προστασίας και τα αντλιοστ σια των ορυχείων.
- Με τη μείωση της κατείσδυσης λόγω της απομάκρυνσης του εδαφικού καλύμματος και της συμπίεσης τ υλικών επιφάνειας, η οποία είναι αναγκαία για την κατασκευή δρόμων, εργοταξίων, συνεργείων, κτιρίω



Εικόνα 1: Χάρτης των ορυχείων του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου στον οποίο φαίνονται οι θέσεις των αντλιοστασίων και η κοίτη του ρέματος Σουλού

Figure1: Map of the mines of Ptolemais - Amynteon Lignite Centre, which includes the position of the pumping stations and the river Soulou bed

κλπ.

- Με τη μεταβολή του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής λόγω των αυξημένων κλίσεων στα πρανή τω αποθέσεων αγόνων υλικών και στις βαθμίδες και τα μόνιμα πρανή του ορύγματος του ορυχείου.
- Με την αποψίλωση της βλάστησης από μεγάλης έκτασης επιφάνειες.

Υπόγεια νερά

Η εκσκαφή των ορυχείων έχει σαν συνέπεια την αποκοπή των ιζηματογενών υδροφορέων και της εκφόρτι σής τους στα ανοιχτά πρανή των ορυχείων, εκδηλούμενη υπό μορφή φυσικής αποστράγγισης. Το πάχος τω υπερκείμενων του λιγνιτικού κοιτάσματος ιζηματογενών υδροφορέων κυμαίνεται από 5 m στο έξαρμα περιο χής Κομάνου έως 150 m στις βαθύτερες τεκτονικά περιοχές (ορυχεία Νοτίου Πεδίου και Αμυνταίου). Ως απο τέλεσμα της αποκοπής των υδροφορέων παρατηρούνται τα εξής:

- Πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα λόγω της άντλησης νερών από τις γεωτρήσεις προστασίας πο διανοίγονται γύρω από το όρυγμα του ορυχείου. Η έκταση της περιοχής στην οποία παρατηρείται πτώσ στάθμης καθορίζεται κύρια από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και από το βάθος το ορυχείου.
- Μεταβολή της ροής του υπογείου νερού, τόσο κατά τη λειτουργία του ορυχείου όσο και μετά το πέρας τη εκμετάλλευσης, λόγω (α) της διατάραξης της στρωματογραφίας στην περιοχή του ορύγματος, το οποίο είτ μένει κενό, είτε πληρώνεται με άγονα υλικά, και (β) της συμπίεσης και ελλιπούς τροφοδοσίας των γεωλογι κών σχηματισμών που αναπτύσσονται κάτω από τις εξωτερικές αποθέσεις.
- Πιθανή ρύπανση των υδροφόρων, η οποία είναι δυνατό να συμβεί με την κατείσδυση επιφανειακών νερώ του ορυχείου στο υπέδαφος.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ, ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2, βασίζονται σε μετρήσεις πο πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια 10 δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία 5ετία από τ ΛΚΠ-Α, σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες που αντιμετώπιζαν τα ορυχεία. Οι θέσεις δειγματοληψίας κατανέ μονταν σε όλα τα ορυχεία (αντλιοστάσια και γεωτρήσεις) και σε 3 σημεία του ρέματος Σουλού (ανάντη, στ μέσο και κατάντη των ορυχείων). Την τελευταία 3ετία οι αναλύσεις διεξάγονται πιο συστηματικά, ενώ πραγ ματοποιούνται και εξειδικευμένες αναλύσεις ως συνέπεια των περιβαλλοντικών όρων που υποχρεούται ν εφαρμόσει η ΔΕΗ γενικά στο λεκανοπέδιο Πτολεμαίδας - Αμυνταίου (ΑΗΣ: ΚΥΑ 69269/5387/25.10.90 [ΦΕΚ678 Β], ΚΥΑ 29827/19.07.96 , ΛΚΠ-Α: ΚΥΑ/29269/19.09.97 [ΥΠΕΧΩΔΕ /ΔΕΑΡΘ]).

Οι περισσότερες χημικές αναλύσεις έγιναν στα χημικά εργαστήρια των ΑΗΣ του λεκανοπεδίου, στο Φυσι κοχημικό εργαστήριο του ΛΚΠ-Α και ορισμένες στα Γενικά Χημεία του Κράτους Κοζάνης και Φλώρινας Έμφαση δόθηκε κυρίως στην ανάλυση της αμμωνίας που αποτελεί το κυριότερο πρόβλημα των υπογείων νε ρών του ΛΚΠ-Α και γενικά όλης της περιοχής και ιδιαίτερα των βαθέων γεωτρήσεων που βρίσκονται εντός τη περιχάραξης των λιγνιτικών κοιτασμάτων και διατρύουν αυτά. Η προέλευση της αμμωνίας οφείλεται στη επαφή του υπόγειου νερού με τα φυτικά λείψανα και το λιγνιτικό κοίτασμα που βρίσκονται σε βάθη από 10 500μ (ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ et al. 2000).

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 2 προκύπτει ότι στα υπόγεια νερά οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας υπερ βαίνουν τα ανώτερα θεσμοθετημένα όρια, ενώ για τις συγκεντρώσεις σιδήρου παρατηρείται οριακή υπέρβασ μόνο στα κεντρικά τμήματα του ΛΚΠ-Α. Η προέλευση της αμμωνίας οφείλεται στην επαφή του υπόγειο νερού με τα φυτικά λείψανα και το λιγνιτικό κοίτασμα που βρίσκονται σε βάθη 10 εως 500 m και εντοπίζετα μόνον στους βαθείς υδροφόρους ορίζοντες που στρωματογραφικά βρίσκονται κάτω από το λιγνιτικό κοίτα σμα. (ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ et al. 2000). Η παρατηρούμενη κατά τόπους οριακή υπέρβαση της συγκέντρωσης σιδήρο μέσα στις κορεσμένες ζώνες του υδροφορέα στα ορυχεία Βορείου Πεδίου, Κομάνου και στο Βιομηχανικ Συγκρότημα αποδίδεται στην παρουσία οξειδίων, ανθρακικών ορυκτών, σουλφιδίων του σιδήρου, αργιλικώ ορυκτών, αμφιβόλων, μαρμαρυγιών και βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων που περιέχονται στις ψαμμιτι κές ενστρώσεις τόσο του σχηματισμού Προαστίου, όσο και των υποκειμένων του λιγνιτικού κοιτάσματος ιζή ματα.

Σε ότι αφορά τα επιφανειακά νερά, οι παράμετροι ποιότητας που εξετάστηκαν κατατάσσονται σε φυσικοχη μικούς, οργανοληπτικούς, μικροβιολογικούς, σε ανεπιθύμητες ουσίες και σε τοξικές ουσίες και βαρέα μέταλλο Από τον Πίνακα 2 προκύπτει ότι ορισμένες μόνο από τις φυσικοχημικές παραμέτρους υπερβαίνουν τα όρια παρατηρείται μικρή οριακή υπέρβαση. Αναλυτικότερα εντοπίστηκαν οι ακόλουθες υπερβάσεις των ορίων:

- Φυσικοχημικές παράμετροι: *Διαλυμένο οξυγόνο*: Η υπέρβαση οφείλεται στον μή ενδεδειγμένο τρόπο δειγ

Πίνακας 1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΩΝ ΛΚΠ-Α ΚΑΙ ΡΕΜΑΤΟΣ ΣΟΥΛΟΥ
Table 1. MINES PUMPING STATION AND SOULOU RIVER WATER QUALITY

ΤΟΜΕΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ Δειγματοληψίες ετών 1995 -2000			ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ ΟΡΥΧΕΙΩΝ								ΡΕΜΑ ΣΟΥΛΟΥ		
			ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ	ΝΟΤΙΟΥ Π. ΤΔ2Β	ΤΔΣΣ	ΚΑΡΔΙΑΣ	ΚΟΜΑΝΟΥ	ΒΟΡΕΙΟΥ ΤΟΜΕΑ	ΠΛΑΤΕΙΑ Κ.ΠΕΔΙΟΥ	ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	Μετά ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	ΓΕΦΥΡΑ Β/Σ-ΚΟΜΑΝΟΥ	ΠΑΣΣΑΖΟ ΒΟΡ.ΤΟΜΕΑ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μονάδα	Όρια Πόσιμου	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ	ΦΧΕ/ΚΔΕΠ
PH		0.0-14	8.0-8.3	7,97-8,17	8,17	7.7-8.65	7.51-8,06	7,6-8,1	7,72	7.61-8.0	8,38	8.23	7,7-8.1
ΘΟΛΕΡΟΤΗΤΑ	NTU	20	10	5	18	8	12	13	14	9	14	12	14
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	$\mu s.cm^{-1}$	750	600-923	622-680	622	750-794-850	1120,1145,1327	964-1120	1105	1220-1427-1230	840-888	840-860	840-1130
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ	$ppmCaCO_3$	350	304-360	599	306	340-449	194-618	213	550	230-234	380	350	362
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ	mg/1	30	27.2-40.1-59.6	48-61.3	135	9.1-19.3-19,6	31,6-44-178.5	7.69-55	6,9	22-48,8-159	43,3-66,4	26,8-32	32-35.3-79
ΔΙΑΛΥΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ	mg/l	600	511,603,846	395-453	339	436-541-1188	895-1080	652-1005	706	791-994-1172	1624	439	571-586-1041
ΧΡΩΜΑ	ioi.Pt-Co	30.	9.-15.	9.-10.	5	8.-20.	25-45	22	22	8.-15.-35.	9.-20.	5.-15.	8.-15.-20.
ΕΠΙΦ.ΕΝΕΡ.ΟΥΣΙΕΣ(LAS)	mg/l	0,5	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	0.02	0,0192	0,044	0.012-0.038	0.0048	απουσία	απουσία
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	^0C	25+20%	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.	10.-15.
ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ	mg/l	1.0	απουσία[1]	απουσία[1]	1.0-2.1	απουσία[1]	<1	απουσία[1]	1	απουσία[1]	απουσία[1]	0-0-2.2-4	0
BOD_5	mg/l	25	0	0	0	0	35	0	0	20	0	0-9	0-10
COD	mg/l	100	30,6	37,17	41	37,7	39	39	41	39,5	46,3	41	34,3-37,4
Διαλυμένο Οξυγόνο	mg/l	3	7,9	7,7	4,2	8	7,5	5,1	4	6,9	7,6	-	4.4-6.0
Αμμωνία $NH+_4$	mg/l	0,5	0,2	0,16	0,12	0,18	0,19	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Νιτρικά NO^-_3	mg/l	50	20,1	21,1	12,6	8,86	9,6	9,6	8,6	12,2	12,4	13	8,8
Νιτρώδη NO^-_2	mg/l	0,1	0,09	0,6	0,011	0,019	0,02	0,03	0,01	0,07	0,15	0,16	0,03
ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΟΕΙΔΗ	MPN 100ml	500-10000	140	136	158	185	321	425	-	125	-	490	-
ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ	MPN 100ml	100-500	14	13	16	18	36	45	-	12	-	69	-
ΕΝΤΕΡΟΚΟΚΚΟΙ	100ml	100.	60	55	62	75	85	92	-	52	-	98	-
ΣΑΛΜΟΝΕΛΛΕΣ	1000ml	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	απουσία	-	απουσία	-	απουσία	-

Νομοθεσία: ΝΑ 555/26.3.90 (ΦΕΚ 297Β/90) ΥΑ 46399/1352/3.7.86:Διάθεση σε επιφανειακό αποδέκτη με ανώτερη τάξη χρήση νερών την κολύμβυση. Περιβαλλοντικοί Όροι ΑΗΣ ΛΚΠ-Α και ΕΛΠ (ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΕΑΡΘ/29269/10.07.97)1:Οργανοληπτική εξέταση. Χωρίς ορατή μεμβράνη στην επιφάνεια του νερού και χωρίς οσμή. Αφρός που δε διαρκεί. Επεξηγήσεις συντομογραφιών: ΤΔΣΣ - Τομέας Διακίνησης Σκληρών Σχηματισμών ΟΝΠ, ΦΧΕ - Φυσικοχημικό Εργαστήριο, ΚΔΕΠ - Κέντρο Δοκιμών Ελέγχου και Προτύπων ΔΕΗ

Πίνακας 2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΛΚΠ-Α (ΝΕΡΑ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ)
Table 2.GROUNDWATER QUALITY (WELL WATERS)

			ΠΕΔΙΟ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ		ΒΟΡΕΙΟΣ ΤΟΜΕΑΣ		ΠΕΔΙΟ ΚΟΜΑΝΟΥ		ΠΕΔΙΟ ΚΑΡΔΙΑΣ		ΝΟΤΙΟ ΠΕΔΙΟ		ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ	
Παράμετροι	Μον.Μέτρ.	Ορ.Ελλ.Νομ**	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ	Μ.Ο.	ΕΥΡΟΣ
PH	0-14	6.5-9.5	7,9	(7.35-8.98)	6,95	(6.6-7.8)	7,4	(7.2-7.9)	7,5	(7.2-8.1)	7,6	(7.1-7.8)	7,6	(7.3-7.7)
T°C	°C	12-25	14	(11-25)	14,5	(12-15)	13,4	(11.9-15)	14,2	(14-15.5)	13	(11-14.2)	12,1	(11-13.6)
Αγωγιμότητα	Ms . Cm	400 (20°C)	483	(415-478)	435	(415-456)	440	(427-629)	620	(491-869)	685	(589-834)	550	(495-785)
Θολερότητα	mg/l SiO_2	10.	1	(0-3)	6,7	(0-8.2)	5,9	(3.4-6.5)	1 ntu	(0.5-3)	2,1	(0,01-8)	3	(1.4-6.5)
Χρώμα	Co	20.	0	(0-0)	0	(0-0)	0	(0-0)	1,2	(0-4.7)	1,9	(0-6,9)	0	(0-0)
Αλκαλ.Φαινολ.	ppm $CaCO_3$	---	11,3	(0-48)	0	(0-0)	0	(0-0)	0	(0-0)	0	(0-0)	0	(0-0)
Αλκαλ.Ηλιανθ.	ppm $CaCO_3$	---	261,5	(118-524)	506	(457-535)	205	(204-290)	250	(230-280)	260	(115-284)	210	(199-258)
Ολ.Σκληροτ.	ppm $CaCO_3$	---	269	(90.3-520)	546	(390-586)	207	(201-393)	269	(252-345)	355	(320-386)	217	(198-290)
Σκληρ/τα Ca	ppm $CaCO_3$	---	72	(20.3-179)	424,2	(400-480)	124	(121-187)	206	(198-267)	220	(190-245)	126	(120-179)
Σκληρ/τα Mg	ppm $CaCO_3$	---	197	(11-340.9)	121,7	(83-143)	81	(53-94)	62,6	(44-85)	135	(40-168)	91	(79-112)
NCH*	ppm $CaCO_3$	---	259	(112-520)	39,4	(29-45)	2	(0-5)	16	(12-55)	108	(97-258)	12	(7-14)
HCO^-_3	ppm	---	319	(137-634)	617	(557-652)	261	(259-364)	305	(245-325)	317	(140-347)	257	(243-315)
Cl^-	mg/l	200	31	(3.55-60.97)	10,6	(8.5-14)	6,4	(2.9-16.1)	3,5	(2.7-17)	38	(29-45)	7,6	(3.2-23)
SO^{--}_4	mg/l	250	64,2	(23.4-208.2)	34	(12-65)	0,4	(0-26)	14	(10-67)	33	(29-44)	12	(3.5-14.6)
NH^+_4	mg/l	0.5	**2,1**	(0.15-875)	**2,4**	(0-3.4)	**1,8**	(0.7-2.2)	0,05	(0.002-0.08)	<0.5***	(0-3.5)	**0,7**	(0.19-2.1)
NO^-_2	mg/l	0.1	0,01	(0-0.04)	0	(0-0)	0,012	(0.01-0.28)	0	(0-0.05)	<0.01	(0-0.06)	0,003	(0-0.2)
NO^-_3	mg/l	50.	3	(1.53-22.5)	2	(0-4.6)	4	(0.2-8.4)	10,7	(5.8-14.2)	15	(1.5-38)	5,3	(2.2-15)
SiO_2	mg/l	100	3,53	(0.87-6.6)	32	(11-56)	25,5	(22-58)	13,3	(11-27)	29	(21-33)	11,8	(5-64)
Ca^{++}	mg/l	100	29	(50.75-71.6)	169,8	(120-196)	49,6	(39-58.3)	82	(67-88)	76	(69-86)	51	(70-81)
mg^{++}	mg/l	50	47,9	(2.7-82.6)	29,6	(24-35)	19,7	(17-22)	15,2	(10-17)	41	(36-47)	22	(15-25)
Fe(ολ.)	mg/l	0.2-0.3	0,12	(0.018-0.23)	**3,6**	(0.1-4.87)	**0,25**	(0.08-0.7)	0,07	(0.003-0.05)	<0.01	(0-0.05)	**0,3**	(0.1-0.8)
Mn^{++}	mg/l	0,05	0	(0-0.07)	0,03	(0.0-0.045)	0,02	(0-0.07)	0.02	(0.01-0.036)	0,001	(0-0,004)	0,03	(0.2-0.58)
TDS*	mg/l	600	483	(238-1025)	356	(298-412)	287	(263-440)	346	(321-492)	488	(419-541)	362	(320-367)
SS*	mg/l	30	0,7	(0-3.4)	3	(0-5.7)	0	(0-0)	1	(0-6.3)	0	(0-1.2)	3,8	(0-5.8)
$KMnO_4$	mg/l	5	0,4	(0-1.1)	4,1	4.1	4,5	(0-8.47)	2	(0-4.7)	2.6	(0-8,8)	2,36	(0-5.4)
P_2O_5	ppm	5	0	(0-0)	0-0,001	(0.02-0.04)	0,02	(0.01-0.06)	0,03	(0-0.04)	0-0.06	(0-0,06)	0,002	(0-0,04)
K^+	mg/l	12	2,4	(1-3)	---	1,1	---	0,9	3.1	---	0,7	(0,3-1,3)	1,4	(0,5-1,9)
Na^+	mg/l	175	1,53	(1-15)	---	16,8	---	11	8.5	---	10	(4-25)	10	(3,4-15,2)
Al^{+++}	mg/l	0,2	0	(0-0,001)	---	0,001	---	<0,03	<0,001	---	0,01	(0-0,03)	---	0,01
Zn^{++}	mg/l	0,5	0	(0-0,002)	---	<0,004	---	<0,001	<0,001	---	0,03	(0,02-0,05)	---	0,05
Cu^{++}	mg/l	0,05	0	(0-0,01)	---	<0,005	---	<0,005	<0,005	---	0,002	(0-0,005)	---	<0,006
BOD_5	mg/l	<3	0	----	---	<2	---	<3	----	<1,5	---	<3	---	<3
S.A.R			0,25	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

** TDS:σύνολο διαλυμένων στερεών,SS:αιωρούμενα στερεά ΚΥΑ: 46399/.7.1986, NCH:μή ανθρακική σκληρότητα.*
*** Όρια πόσιμου νερού σύμφωνα με Σ.Ε.Κ 80/778/15.7.80, Εφημερίδα Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων/30.08.1980*
**** >0.5 για Υ/Γ στους υποκείμενους του λιγνιτικού κοιτάσματος σχηματιμούς*

ματοληψίας, λόγω έλλειψης ειδικής συσκευής, και απορρόφησης οξυγόνου της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Οι φυσιολογικές τιμές, σύμφωνα και με τα βιβλιογραφικά δεδομένα του ρέματος Σουλού, δεν πρέπει να ξεπερνούν το όριο. *Αγωγιμότητα*: Δεν θεωρείται σημαντική παράμετρος. Υπερβάσεις πάνω από 1000 μs/cm παρατηρούνται στα αντλιοστάσια των ορυχείων Κομάνου και Αμυνταίου.

- Μικροβιολογικές παράμετροι: Δεν παρατηρούνται υπερβάσεις. Εξαίρεση αποτελούν δείγματα που συλλέχθηκαν στη γέφυρα Κομάνου, η οποία αποδίδεται στην εκροή αστικών λυμάτων του Δημοτικού Διαμερίσματος Κομάνου στο ρέμα Σουλού.
- Οργανοληπτικές παράμετροι: *Χρώμα:* Παρατηρούνται υπερβάσεις σε 2 μόνο αναλύσεις που αφορούν τα ορυχεία Κομάνου και Αμυνταίου. Η υπέρβαση του ορυχείου Αμυνταίου είναι οριακή.
- Ανεπιθύμητες ουσίες: *Αιωρούμενα στερεά (SS):* Εκτός του αντλιοστασίου του ορυχείου Καρδιάς, οι περισσότερες μετρήσεις των υπολοίπων ορυχείων υπερβαίνουν τα όρια.*Υδρογονάνθρακες:* Η παρουσία υδρογονανθράκων πάνω από το όριο, σε ορισμένες μετρήσεις θεωρείται στατιστικά τυχαία και όχι μόνιμη. *Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS):* Στα νερά των αντλιοστασίων επικρατούν τα ανθρακικά άλατα του Ca και Mg. Πρακτικά παρατηρείται υπέρβαση σε όλα τα αντλιοστάσια. Το υπάρχον όριο των 600 mg/l, το οποίο ορίζεται από τους περιβαλλοντικούς όρους των ΑΗΣ του λεκανοπεδίου, είναι πολύ μικρό αν ληφθεί υπόψη ότι η οδηγία 80/788 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ορίζει ως μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση στο πόσιμο νερό τα 1500 mg/l. Η ύπαρξη διαλυμένων στερεών σε τέτοιες συγκεντρώσεις δεν έχει επίδραση στο περιβάλλον και συνδέεται άμεσα με τις υψηλές τιμές αγωγιμότητας που μετρήθηκαν.
- Τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα, ιχνοστοιχεία: Δεν παρατηρείται απολύτως καμία υπέρβαση και οι συγκεντρώσεις είναι πάρα πολύ μικρές σε σχέση με τα όρια.

Τα όργανα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των αναλύσεων των προαναφερομένων παραμέτρων ποιότητας αναφέρονται σε σχετική δημοσίευση των Σαχανίδη και Λάσκου, 2000.

5. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΝΕΡΩΝ

Τα εφαρμοζόμενα από το ΛΚΠ-Α μέτρα αντιμετώπισης της ρύπανσης των νερών που προκαλείται από την εξορυκτική δραστηριότητα κατατάσσονται στη κατηγορία των προληπτικών μέτρων. Ειδικότερα, σε ότι αφορά τη ρύπανση των επιφανειακών νερών, προκείμενου να περιοριστεί η διάβρωση των εδαφών και η απόθεση ιζημάτων σε επιφανειακούς αποδέκτες εφαρμόζονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Μείωση των κλίσεων των πρανών των τελικών αποθέσεων. Το μέτρο αυτό εφαρμόζεται έτσι και αλλιώς για λόγους που επιβάλλει η εκμετάλλευση των ορυχείων για την ασφάλεια του προσωπικού και των εγκαταστάσεων, αφού είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη μείωση του κίνδυνου κατολισθήσεων.
- Μείωση του μήκους των κεκλιμένων επιφανειών των τελικών αποθέσεων και κατασκευή αναβαθμίδων προκειμένου να ελεγχθεί η ταχύτητα ροής των επιφανειακών απορροών που συμβάλλει θετικά στη διάβρωση του εδάφους.
- Δεντροφύτευση των κεκλιμένων επιφανειών των αποθέσεων, ώστε να αυξηθεί η διείσδυση του νερού στο υπέδαφος και κατά συνέπεια να μειωθεί η ποσότητα του νερού που ρέει επιφανειακά.
- Κατασκευή τάφρων σε επιλεγμένες θέσεις περιμετρικά των ορυχείων προκειμένου να μειωθεί η τροφοδοσία του ορυχείου με επιφανειακά νερά (μειώνοντας ουσιαστικά την έκταση της υδρολογικής λεκάνης τροφοδοσίας του ορυχείου).
- Καθίζηση των αιωρούμενων στερεών σε κατάλληλα σχεδιασμένες δεξαμενές ή τεχνητές λίμνες. Ήδη έχει προταθεί και διερευνάται η κατασκευή δύο εν σειρά συγκοινωνούντων υπαίθριων ανοικτών δεξαμενών καθίζησης για κάθε ορυχείο. Τα αντλούμενα νερά των ορυχείων θα οδηγούνται στις υπαίθριες δεξαμενές καθίζησης, στις οποίες θα παραμένουν για 24 ως 72 ώρες και στη συνέχεια θα διατίθενται στους επιφανειακούς αποδέκτες.Ένα τέτοιο έργο θα λύσει ουσιαστικά το πρόβλημα της υπέρβασης των ορίων όσον αφορά τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών, ολικών διαλυμένων στερεών και εν μέρει όσον αφορά την αγωγιμότητα και το χρώμα.

Σε ότι αφορά τα υπόγεια νερά, η άντληση νερού από περιμετρικές γεωτρήσεις προστασίας του ορυχείου, πέρα από το ότι προστατεύει τα έργα και τον εξοπλισμό εκμετάλλευσης και αυξάνει την ευστάθεια των πρανών μειώνοντας την πίεση των πόρων του εδάφους, μπορεί να θεωρηθεί ότι συνεισφέρει θετικά και στην προστασία της ποιότητας του νερού (ΛΟΥΛΟΥΔΗΣ, 1990). Οι γεωτρήσεις αυτές εμποδίζουν το υπόγειο νερό να εισέλθει στο όρυγμα της εκμετάλλευσης και να επιβαρυνθεί, μέσω φυσικών και χημικών διεργασιών, με διάφορα συστατικά που υποβαθμίζουν την ποιότητά του.

Τέλος, στα μέτρα πρόληψης της ρύπανσης των νερών των ορυχείων εντάσσεται και η απόθεση αποβλήτων διαφόρων τύπων, τα οποία παράγονται είτε από τα ίδια τα ορυχεία, είτε από άλλες δραστηριότητες που αναπτύσσονται στις γύρω περιοχές (π.χ. αστικά απορρίμματα των όμορων δήμων), σε επίπεδο ανώτερο από το

επίπεδο που αναμένεται να φτάσει η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας του υπόγειου υδροφόρου με τη λήξη των έργων εκμετάλλευσης των ορυχείων.

Πέρα από τα μέτρα πρόληψης, έχουν αναπτυχθεί διεθνώς μέτρα παθητικής και ενεργητικής επεξεργασίας των νερών που ρυπαίνονται από εξορυκτικές δραστηριότητες. Σε ότι αφορά τα νερά των αντλιοστασίων, έχουν κατά καιρούς προταθεί ή έχουν διερευνηθεί από το ΛΚΠ-Α οι ακόλουθες μέθοδοι επεξεργασίας των νερών:

- *Σε ότι αφορά τη μείωση της συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών*: η μέθοδος της αποσκλήρυνσης με προσθήκη υδράσβεστου, η αφαλάτωση, η αντίστροφη όσμωση, η εγκατάσταση ειδικών φίλτρων άμμου, μέθοδος που αντενδείκνυνται οικονομικά, και η ιοντοανταλλαγή με ζεόλιθους (BETZ, 1962), η οποία διερευνάται σε συνάρτηση με τη ζεολιθοποίηση της τέφρας.
- *Σε ότι αφορά τη μείωση της αγωγιμότητας:* η αφαλάτωση, η αποσκλήρυνση με προσθήκη υδράσβεστου και η αντίστροφη όσμωση.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ότι στην περίπτωση των λιγνιτωρυχείων της περιοχής Πτολεμαΐδας δεν αντιμετωπίζεται σημαντικό πρόβλημα με το σχηματισμό όξινων απορροών, πρόβλημα που είναι σύνηθες σε πλήθος ορυχείων σε όλο των κόσμο (CLARKE, 1995). Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι η ασβεστιτική σύσταση μεγάλου μέρους των υπερκειμένων και ενδιαμέσων αγόνων υλικών του λιγνιτικού κοιτάσματος επιτρέπει την επιτόπου εξουδετέρωση των όποιων όξινων υδατικών διαλυμάτων που σχηματίζονται τοπικά. Στη εξάλειψη του συγκεκριμένου προβλήματος συμβάλλει θετικά και ο τρόπος σχηματισμού των αποθέσεων των αγόνων υλικών που ακολουθείται από τα ορυχεία της περιοχής. Η ανάμιξη υλικών που όμως έχουν υψηλό ποσοστό οργανικών ουσιών, αποτελώντας εν δυνάμει πηγές σχηματισμού όξινων απορροών, με άγονα υλικά ασβεστιτικής σύστασης και σε πολλές περιπτώσεις ιπτάμενη τέφρα υψηλής περιεκτικότητας ασβεστίου επιφέρει επιτόπου εξουδετέρωση των όξινων απορροών. Οι παραπάνω παρατηρήσεις επαληθεύτηκαν από πειραματικές εκχυλίσεις που διεξήχθησαν από το ΛΚΔΜ σε τέφρες και εδάφη. Το pH του αφαλατωμένου νερού μετά από την έκπλυση λαμβάνει τιμές από 8 έως και 13. Τα στοιχεία που εκχυλίζονται είναι κυρίως βασικά (Ca, CaO, MgO, K, Na, $Fe(OH)_3$) και λιγότερο όξινα (Si, Al και Ti).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών των αντλιοστασίων του ΛΚΠ-Α και των νερών του ρέματος Σουλού και των αποστραγγιστικών τάφρων του ορυχείου Αμυνταίου είναι γενικά σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και τους κανονισμούς που αφορούν τα υγρά απόβλητα της λεκάνης Πτολεμαίδας-Αμυνταίου.

Εξαίρεση αποτελούν ορισμένες παράμετροι ποιότητας, όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, τα ολικά διαλυμένα στερεά και η αγωγιμότητα. Οι υπερβάσεις αυτές εξηγούνται από (α) την παρουσία πολλών αργιλικών πετρωμάτων και λεπτόκοκκης άμμου, όπως και αλάτων, κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου, εντός του υδροφορέα που τροφοδοτεί τα αντλιοστάσια και (β) τον τρόπο άντλησης, ο οποίος αυξάνει τις συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα και ολικά διαλυμένα στερεά.

Η συγκέντρωση υδρογονανθράκων και το χρώμα των νερών των αντλιοστασίων παρουσιάζουν επίσης παροδικές υπερβάσεις των σχετικών ορίων. Οι υπερβάσεις αυτές αποδίδονται μάλλον σε παραλείψεις και σφάλματα του προσωπικού λειτουργίας των ορυχείων (π.χ. διάθεση λιπαντικών στο έδαφος).

Επομένως, οι μοναδικοί επιφανειακοί ρύποι που οφείλει να αντιμετωπίσει το ΛΚΠ-Α είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά, τα αιωρούμενα στερεά και η αγωγιμότητα. Η κατασκευή δύο εν σειρά συγκοινωνούντων υπαίθριων ανοικτών δεξαμενών καθίζησης σε κάθε ορυχείο, στις οποίες θα οδηγούνται τα νερά των αντλιοστασίων θεωρείται ως ενδεδειγμένη λύση για την αντιμετώπιση των υπερβάσεων των ορίων όσον αφορά τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών, ολικών διαλυμένων στερεών και εν μέρει όσον αφορά την αγωγιμότητα και το χρώμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΑΝΚΟ ΑΕ. (1992).Υδρολογικές επιπτώσεις –υπολογισμός επιπτώσεων μείωσης στάθμης –αξιολόγηση οικονομικών επιπτώσεων από τη δραστηριότητα της ΔΕΗ στην ύδρευση Πτολεμαίδας. Κοζάνη.

BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER CONDITIONING (1962), 6th Edition. Philadelphia 24, PA.

CLARKE, LEE B., (1995). Coal Mining and Water Quality, IEA Coal Research, London.P,99. ISBN 92-9029-255-5.

ΔΕΗ / ΛΙΓΝΙΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ-ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ / ΤΟΜΕΑΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (1999). Στοιχεία αρχείου.

ΕΘΙΑΓΕ ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ (1997). Μηνιαία Μετερεωλογικά Δελτία.

ΚΥΑ/29269/19.09.09(ΥΠΕΧΩΔΕ/ΔΕΑΡΘ). Έγκριση περιβαλλοντικών όρων της λειτουργίας των Μονάδων Ι-

ΙΙ του ΑΗΣ ΛΚΠ-Α και του εργοστασίου λιγνιτοπλίνθων και ξηρού λιγνίτη.

ΚΥΑ 46399/4352 (ΦΕΚ 438 Β/3-7-86). Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, κολύμβηση, διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά και καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών. Μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυσης των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ,76/160/Ε-ΟΚ, 78/659/ΕΟΚ και 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ.

ΛΟΥΛΟΥΔΗΣ, Γ., (1990), Ειδική Υδρογεωλογική Μελέτη Νοτίου Λιγνιτικού Πεδίου Πτολεμαΐδας, ΔΕΗ/ΔΑΟ, σελ. 110.

ΜΕΛΑΔΙΩΤΗΣ, Ι. (1996). Τηλεδιερεύνηση του τεκτονικού βυθίσματος Πτολεμαίδας –Σαριγκιόλ. Τεχνική έκθεση για λογαριασμό της ΔΕΗ/ΔΑΟ.

Νομαρχιακή Απόφαση Φλώρινας Ν.Α 555/26.3.90 (ΦΕΚ 297Β/90).Διάθεση λυμάτων και υγρών αποβλήτων στο Νομό Φλώρινας.

ΟΔΗΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ 80/778/15.7.80. Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων/30.08.1980.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Α. (1982). Υδρογεωλογικές έρευνες σε υδροφορείς της Δυτικής Μακεδονίας. ΙΓΜΕ ΚΟΖΑΝΗΣ.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ, Α. (1982). Υδρογεωλογικές έρευνες στο κάρστ της ορεινής μάζας του Βερμίου. Υδροτεχνικά Χρονικά,1.

ΥΔΡΟΓΑΙΑ (1980). Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Σαριγκιόλ-Μαυροδενδρίου. Τόμος Ι,ΙΙ. Για λογαριασμό της ΔΕΗ/ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Υ/Η.Ε, θεσσαλονίκη.

ΣΤΑΜΟΥ, Α & ΖΑΜΠΟΚΑ, Ν. (1991). Μερικά υδρογεωλογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του λιγνιτικού κοιτάσματος Κομνηνών που αφορούν την υδρολογική προστασία του ορυχείου. ΙΓΜΕ ΚΟΖΑΝΗΣ.

ΤΟΛΙΚΑΣ, Δ. (1997). Προβλήματα διαχείρισης υδατικών πόρων στη Δυτική Μακεδονία. Ημερίδα <<Διαχείριση υδατικών πόρων στη λεκάνη Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου>>. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας. Πτολεμαΐδα 15 Φεβρουαρίου 1997.

ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Α. (1982) Υδρογεωλογικές έρευνες στο κάρστ της ορεινής μάζας του Βερμίου. Υδροτεχνικά Χρονικά, 1.

ΣΑΧΑΝΙΔΗΣ, Χ., ΛΑΣΚΟΣ, Κ. (2000). Ποιότητα νερών Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαίδος-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α)-Προβλήματα-Διορθώσεις και η σχέση τους με το περιβάλλον. Πρακτικά 1ου Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας Ορυκτολογίας & Γεωχημείας. Φεβρουάριος 2000. ΚΟΖΑΝΗ, σελ. 380-397.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATIONS OF WATER AND WASTE WATER,19th edition (1995). Washington DC 20005.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1951-1957, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1951-1957, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΧΕΛΩΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ*

Ν. ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ[1], Ν. ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ[2], Ε. ΖΑΓΓΑΝΑ[1] & Π. ΠΕΡΓΙΑΛΙΩΤΗΣ[3]

ΣΥΝΟΨΗ

Σ' αυτή την εργασία παρουσιάζεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στη ρύπανση των νερών στον κάτω ρού του Αχελώου. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν, ότι η περιοχή έρευνας υδροχημικά χαρακτηρίζεται από μεγάλη ανομοιομορφία, λόγω της διαφορετικής προέλευσης των επιφανειακών νερών και της μεγάλης ποικιλομορφίας των υδροφόρων. Καθοριστικό παράγοντα παίζει η υφαλμύρωση των υπόγειων νερών, η οποία δεν παρουσιάζει συγκεκριμένη γεωγραφική κατανομή, και η διάλυση της γύψου των τριαδικών λατυποπαγών. Τα υπόγεια νερά είναι ποιοτικά επιβαρυμένα, ιδιαίτερα όσον αφορά τα νιτρικά, σε αντίθεση με τα επιφανειακά, τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα ενώσεων του N και του P γεγονός που αποδίδεται αντίστοιχα σε διεργασίες απονιτροποίησης και προσρόφησης του φωσφόρου στα ιζήματα. Τέλος, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στην βροχή είναι συγκρίσιμες με αυτές των επιφανειακών νερών.

ABSTRACT

The methodology used to evaluate the contribution of agriculture to the pollution of the lower part of Acheloos River is described. This work is a collaboration of the Hellenic Ministry of Agriculture and the National Centre for Marine Research. The methodology used in this study has four components. (1) determination of the hydrologic and geochemical conditions, the interaction between surface and ground water and the hydrologic budget of the area; (2) determination of point and diffused sources of pollution, and quantification of nutrient fluxes from point and non-point sources, (3) water quality monitoring of surface waters, groundwater and atmospheric deposition, and (4) hydrologic and water quality modelling.

Preliminary results indicate that the region is hydrologically and hydrochemically heterogeneous, due to the different origin of surface water, and the heterogeneity of the subsurface of the delta environment. It appears that Acheloos River is recharging the groundwater in the region of the alluvial deposits. Significant role plays the salinisation of groundwater and the dissolution of gypsum from the triassic breccia formation. Surface water from river, irrigation channels and drainage channels has a similar geochemical composition. Groundwater exhibits high nitrate concentrations in contrast to the surface water that shows low N and P contents. It is postulated that this is due to denitrification and phosphorous adsorption of soil occurring at the groundwater/surface water interface. Finally, nutrient concentrations in rainwater are comparable to those of surface water. In conclusion, it appears that significant nutrient contamination is restricted to groundwater while the general water quality of the surface water is good.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αχελώος, Ρύπανση, Υδροχημεία, Απονιτροποίηση.
KEY WORDS: Acheloos River, Pollution, Hydrochemistry, Denitrification

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία είναι τμήμα του ερευνητικού έργου "Αξιοποίηση υδροχημικών δεδομένων του Αχελώου: Εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στην υδατική ρύπανση", το οποίο χρηματοδοτείται από το Υπουργείο Γεωργίας (Γενική Διεύθυνση Εγγειοβελτωτικών Έργων & Γεωργικών Διαρθρώσεων). Σκοπός του

* THE CONTRIBUTION OF AGRICULTURE TO THE AQUATIC POLLUTION OF THE LOWER PART OF ACHELOOS RIVER: METHODOLOGY AND PRELIMINARY RESULTS

1. National Centre for Marine Research, Institut for Inland Waters, Agios Kosmas, 166 04 Hellinikon, Athens. nskoul@nnmr.gr, eleza@ncmr.gr
2. Environmental Research Institute, The University of Connecticut, Storrs, CT 06269-2037 USA
3. Geology and Hydrology Department, Hellenic Ministry of Agriculture

έργου είναι η εκτίμηση της συνεισφοράς της γεωργίας στη ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων στην περιοχή του κάτω ρού του Αχελώου. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε ειδική μεθοδολογία που περιγράφεται στη συνέχεια. Επίσης, παρουσιάζονται και τα πρώτα αποτελέσματα.

Μεταξύ των μη σημειακών πηγών ρύπανσης (γεωργία, βοσκή, ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κ.τ.λ.) η σημαντικότερη είναι η γεωργία. Οι γεωργικές δραστηριότητες επιβαρύνουν τα εδάφη και τα νερά με ενώσεις του αζώτου και του φωσφόρου, φυτοφάρμακα και βαρέα μέταλλα. Ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών προκαλούν και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες (αστικά λύματα, απορρίμματα, βιομηχανικά απόβλητα, κτηνοτροφικές μονάδες), που όμως έχουν σημειακό χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά εύκολος, τόσο ο προσδιορισμός των επιπτώσεων τους, όσο και ο έλεχγός τους. Αντίθετα, η γεωργική ρύπανση δεν είναι εύκολο να ελεγχθεί, γιατί οι πηγές της αναφέρονται σε μεγάλες εκτάσεις. Παράλληλα, οι ρύποι που προέρχονται από τις γεωργικές περιοχές μεταφέρονται από το έδαφος, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, αναμειγνύονται συχνά με ρύπους από άλλες πηγές και υπόκεινται σε ποικίλες βιογεωχημικές δράσεις και μεταβολές. Έτσι, δεν είναι εύκολο να προσδιορισθεί η συνεισφορά της γεωργίας στην ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Επιπρόσθετα, οι ιδιαιτερότητες της περιοχής έρευνας, μεγάλο πεδινό τμήμα με ασαφές υδρογεωλογικό καθεστώς, (ΜΑΡΊΝΟΣ 1993, ΝΙΚΟΛΑΟΥ 1993) καθιστούν το όλο εγχείρημα ιδιαίτερα σύνθετο.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο τελευταίο τμήμα της υπολεκάνης του Κάτω Αχελώου, η οποία αποτελεί μία από τις τρείς κύριες υπολεκάνες της λεκάνης απορροής του ποταμού. Έχει έκταση 314 km^2 και συμπεριλαμβάνει την περιοχή, η οποία περικλείεται μεταξύ της γέφυρας της Δ.Ε.Η. κοντά στην Λίμνη του Οζερού και του σημείου πριν την εκβολή του ποταμού, που δεν χαρακτηρίζεται από περιοδική διείσδυση της θάλασσας (Σχήμα 1). Το ανάντη όριο της περιοχής ορίσθηκε έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη, τόσο ο ρόλος της Διώρυγας Δίμηκου, η οποία συνδέει την λίμνη Λυσιμαχεία με τον Αχελώο, όσο και του καναλιού του Οζερού, το οποίο συνδέει τον Οζερό με τον Αχελώο. Το κατάντη όριο της περιοχής έρευνας προκύπτει από το γεγονός ότι η επίδραση του θαλασσινού νερού αλλοιώνει τις τιμές των ρυπαντικών φορτίων, που εξέρχονται μέσω του Αχελώου προς τη θάλασσα.

Η έρευνα για τη συμβολή της γεωργίας στη ρύπανση των νερών εντοπίζεται κυρίως κατάντη της γέφυρας Γουριάς – Πενταλόφου (κυρίως περιοχή έρευνας). Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το αγρόκτημα Λεσινίου και την πεδιάδα Κατοχής-Νεοχωρίου, εκτάσεις που δημιουργήθηκαν ύστερα από εκτεταμένες αποξηράνσεις και στις οποίες λειτουργεί ένα πυκνό εγγειοβελτιωτικό δίκτυο (αρδευτικά και στραγγιστικά έργα), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι ο φυσικός υδρολογικός κύκλος τού Αχελώου έχει διαταραχθεί από την λειτουργία των φραγμάτων (Στράτος, Καστράκι, Κρεμαστά), τα οποία βρίσκονται στην υπολεκάνη του μέσου ρου του Αχελώου, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η περιοχή παρουσιάζει ένα μη φυσικό, αλλά ανθρωπογενές, υδρογραφικό δίκτυο.

Τη γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας συνθέτουν: Τριαδικά ασβεστολιθικά δολομιτικά και λατυποπαγή με γύψους, ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα (ελαφρώς δολομιτιωμένοι), Πλειοκαινικές αποθέσεις λιμναίας φάσης και οι λεπτομερείς Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν ένα μεγάλο φάσμα ποτάμιων-ποταμοθαλάσσιων-λιμνοθαλάσσιων-βαλτωδών και θαλάσσιων ιζημάτων (ΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1993).

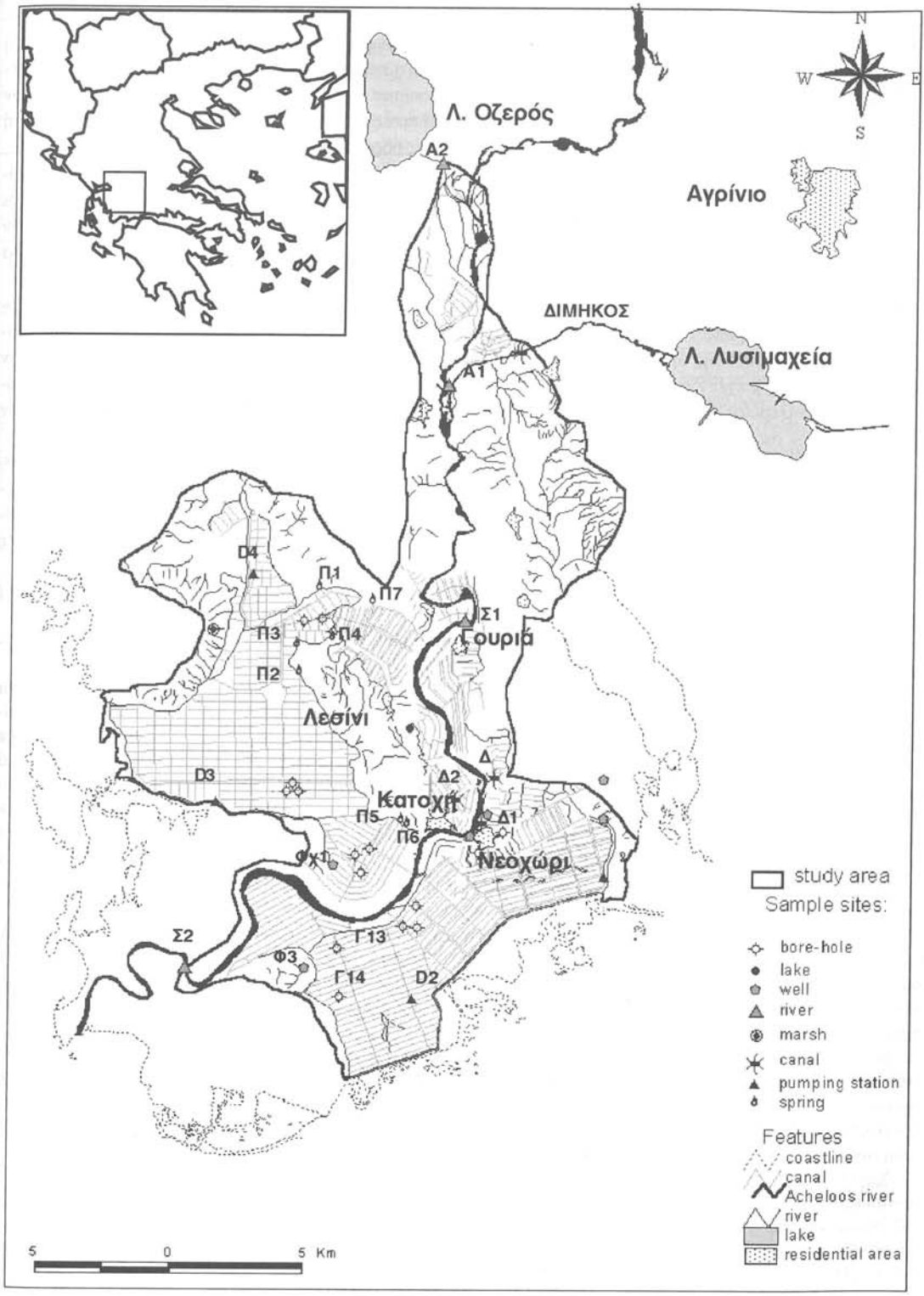
Στην περιοχή έρευνας υπάρχουν αρκετοί καρστικοί (Λάμπρας, Ακαρνανικών ορέων, Παναγίας) και προσχωματικοί υδροφόροι.

Η περιοχή έρευνας συγκεντρώνει τις περισσότερες οικονομικές δραστηριότητες ολόκληρης της λεκάνης. Τα αστικά απόβλητα και τα ρυπαντικά φορτία από αγροτικές δραστηριότητες αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης. Καθώς ο δευτερογενής τομέας δεν είναι αναπτυγμένος, τα βιομηχανικά απόβλητα είναι περιορισμένα.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση της γεωργίας στη ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία (NIKOLAIDIS et al. 1998):

Α) Προσδιορισμός του υδρολογικού και υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής, της αλληλεπίδρασης μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και του υδατικού ισοζυγίου. Ο κύριος φυσικός φορέας γλυκών επιφανειακών υδάτων στην κυρίως περιοχή έρευνας είναι ο Αχελώος. Άλλη βασική πηγή επιφανειακών υδάτων είναι η διώρυγα Δ20, η οποία οδηγεί τα νερά της Λυσιμαχείας στην περιοχή έρευνας. Καθώς η κυρίως περιοχή έρευνας δεν αποτελεί μια κλειστή υδρολογική λεκάνη, για να προσδιορισθεί το υδατικό ισοζύγιο,



Σχήμα 1: Περιοχή Έρευνας και σημεία δειγματοληψίας
Fig. 1: Study area and sample sites

πρέπει να υπολογισθούν οι ποσότητες των εισερχόμενων και εξερχόμενων υδάτων. Συγκεκριμένα: (α) η ποσ τητα του νερού που εισέρχεται από ανάντη περιοχές, μέσω επιφανειακής απορροής (Αχελώος, Δ20), (β) ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η περιοχή έρευνας, (γ) η ποσότητα που εξέρχε ται από την περιοχή έρευνας επιφανειακά η υπόγεια και μέσω του Αχελώου ή των αποστραγγιστικών τάφρω προς τη θάλασσα (δ) η ποσότητα που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής και (ε) αυτ που κατεισδύει στο υπέδαφος τροφοδοτώντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού, που εισέρχεται και εξέρχεται επιφανειακά μέσω του Αχελω ου στην κυρίως περιοχή έρευνας, εγκαταστάθηκαν στην είσοδο και στην έξοδό της δύο μόνιμοι αυτόματ σταθμοί συνεχούς μέτρησης της στάθμης του Αχελώου (Σχ. 1). Στις δύο αυτές θέσεις έγιναν μετρήσεις για τ υπολογισμό της διατομής του ποταμού. Για τον προσδιορισμό της παροχής του ποταμού στις δύο θέσεις θ πραγματοποιηθούν υδρομετρήσεις από τη Δ.Ε.Η.

Για να υπολογισθούν οι ποσότητες των νερών που εισέρχονται επιφανειακά μέσω της διώρυγας Δ20, γίν νται επίσης υδρομετρήσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι η Δ20, λειτουργεί μόνο κατά τους θερινούς μήνες, ανάλ γα με τις ανάγκες άρδευσης της περιοχής. Για να υπολογισθούν οι ποσότητες του νερού, που εισέρχονται στη περιοχή με τη βροχή, έχει εγκατασταθεί ένας μετεωρολογικός σταθμός και σε ένα δεύτερο σημείο της περι χής ένας βροχομετρικός σταθμός. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν και δεδομένα άλλων υφιστάμενα μετεωρολογικών σταθμών (Σταθμός Αγρινίου, Λεσινίου, Νεοχωρίου και Μεσολογγίου).

Η ποσότητα του νερού, που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισοδιαπνοής και αυτή που κατει δύει στο υπέδαφος τροφοδοτώντας τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, θα υπολογισθεί με τη βοήθεια μετ ωρολογικών δεδομένων και της εξίσωσης Pennmann-Montheith (BRAS, 1990). Για τον υπολογισμό της ποσ τητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στο έδαφος πραγματοποιούνται και μετρήσε στο πεδίο.

Η ποσότητα νερού, που εξέρχεται από τη περιοχή, μέσω των αποστραγγιστικών τάφρων θα υπολογισθ από τις παροχές των αποστραγγιστικών αντλιοστασίων.

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, η περιοχή έρευνας θα μελετηθεί λεπτομερέστερα σε μικρότ ρες υπολεκάνες.

Με σκοπό να διερευνηθεί το υδρογεωλογικό καθεστώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ επιφανειακών κ υπόγειων νερών, μετά την απογραφή των σημείων εμφάνισης νερού (πηγές, πηγάδια, γεωτρήσεις), εγκαστα θηκε δίκτυο ερευνητικών γεωτρήσεων μικρού βάθους (καθώς ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ υψηλός) τριγωνική διάταξη, ένθεν και ένθεν του ποταμού, στις θέσεις που φαίνονται στο χάρτη (Σχήμα 1). Συνολικ ανορύχθηκαν 18 πιεζόμετρα (9 στο ΒΔ και 9 στο ΝΑ τμήμα του Αχελώου). Η μέτρηση της στάθμης, τόσο σ πιεζόμετρα, όσο και στα πηγάδια γίνεται σε μηνιαία βάση για τουλάχιστον ένα υδρολογικό έτος. Στις περι σότερες γεωτρήσεις εκτελέσθηκαν αντλητικές δοκιμές για τον προσδιορισμό της περατότητας. Έτσι, είν δυνατόν να γίνει κατανοητή η κίνηση του υπόγειου νερού και ή ύπαρξη η όχι υδραυλικής σχέσης μεταξύ τα διαφόρων υδροφόρων και υδρογεωλογικών ενοτήτων της περιοχής. Για το σκοπό αυτό θα συναξιολογηθούν τ φυσικοχημικά και τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των νερών της περιοχής.

Από τις μέχρι σήμερα μετρήσεις της στάθμης (Ιούνιος – Δεκέμβριος 2000) καταλήγουμε στα εξής συμπερ σματα: Οι χαμηλότερες στάθμες εμφανίζονται σχεδόν σε όλα τα πιεζόμετρα το μήνα Οκτώβριο ενώ οι υψηλ τερες το Δεκέμβριο. Επίσης, φαίνεται ότι οι υδροφόροι ορίζοντες κατά κανόνα τροφοδοτούνται από τον Αχ λώο και τα νερά άρδευσης, όπως και τη βροχή, ενώ αντίστροφη υδροφορία από τους υπόγειους υδροφόροι προς τον Αχελώο συμβαίνει σε μικρότερο βαθμό.

Β) Προσδιορισμός των σημειακών και εκτατικών πηγών ρύπανσης, του είδους και των ποσοτήτων τα εκπεμπομένων ρύπων. Η λεπτομερής καταγραφή των σημειακών και εκτατικών πηγών ρύπανσης της περιοχ έρευνας έχει είδη πραγματοποιηθεί. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε δεδομένα που αφορούν το είδος και τ ποσότητες των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τα οποία χρησιμοποιούνται ανά καλλιέργεια και στο χρόν εφαρμογής τους. Οι πηγές ρύπανσης που έχουν καταγραφεί στην περιοχή είναι οι εξής:

Σημειακές πηγές: Τα λύματα της πόλης του Αγρινίου αποχετεύονται στη Λυσιμαχεία και, αφού υποστοι αραίωση, καταλήγουν μέσω της διώρυγας της Δίμηκου στον Αχελώο και μέσω της αρδευτικής διώρυγας Δ στις καλλιεργούμενες εκτάσεις του Δήμου Οινιάδων. Οι οικισμοί εξυπηρετούνται από απορροφητικούς β θρους. Δεν υπάρχουν χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, αλλα ανοιχτές χωματερές (Κατοχή, Νεοχώ Γουριά, Πεντάλοφος, Λεσίνι, Μάστρο). Στην περιοχή λειτουργούν αρκετά ελαιοτριβεία, τυροκομεία και σφ γεία. Επίσης, έχουν καταγραφεί 5 οργανωμένες κτηνοτροφικές μονάδες.

Εκτατικές πηγές: Έχουν καταγραφεί με λεπτομέρεια οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και τα είδη των κα λιεργειών ανά έκταση. Πέρα από τη γεωργία, σημαντική ποσότητα ρυπαντικού φορτίου σε εκτατική μορφ

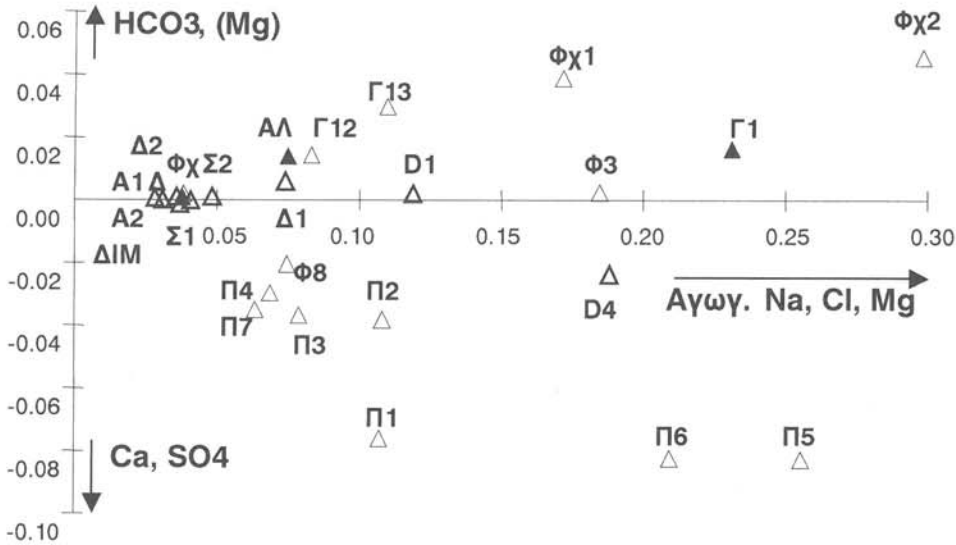
προέρχεται από την ελεύθερη κτηνοτροφία. Για την καταγραφή του αριθμού των ελεύθερων ζώων (δηλ. αυτών που δεν ανήκουν στίς παραπάνω οργανωμένες κτηνοτροφικές μονάδες) και των βοσκοτόπων τους διασταυρώνονται πληροφορίες αρχών και κατοίκων της περιοχής.

Γ) Προσδιορισμός της ποιότητας των υπόγειων και των επιφανειακών νερών και των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Για το σκοπό αυτό εκτελούνται σε μηνιαία βάση δειγματοληψίες επιφανειακών σημείων εμφάνισης νερού και πηγαδιών και κάθε δύο μήνες δειγματοληψίες γεωτρήσεων. Οι θέσεις δειγματοληψίας (Σχ. 1) έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να επηρεάζονται από διαφορετικές πηγές ρύπανσης (εκτάσεις με διαφορετικά είδη καλλιέργειας, κτηνοτροφικές μονάδες, αστικά λύμματα κ.τ.λ.). Αυτό θα βοηθήσει στον υπολογισμό της συμμετοχής κάθε διαφορετικής πηγής ρύπανσης στην επιβάρυνση των νερών. Για τον υπολογισμό της συνεισφοράς των εκπλύσεων γεωργικών εκτάσεων στην ποιότητα των νερών του Αχελώου έχουν εγκατασταθεί, στις ίδιες θέσεις με τους αυτόματους σταθμηγράφους, και δύο αυτόματοι σταθμοί δειγματοληψίας με σκοπό τη συλλογή δειγμάτων νερού σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά την εκδήλωση βροχοπτώσεων.

Για τον έλεγχο της ποιότητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων έχουν εγκατασταθεί βροχοσυλλέκτες σε τέσσερα σημεία της περιοχής από τους οποίους λαμβάνεται δείγμα βροχής μετά από κάθε επεισόδιο.

Στο πεδίο γίνονται άμεσα μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, αγωγιμότητα, διαλυμένο οξυγόνο). Τα δείγματα, δηλητιαριάζονται με προσθήκη $HgCl_2$, μεταφέρονται υπό ψύξη και αναλύονται στο εργαστήριο Υδροχημείας του Ινστιτούτου Εσωτερικών Υδάτων του Εθνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών ως προς όλα τα κύρια κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}), ανιόντα (HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-), τις ενώσεις N (NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, και ολικό N) και P (PO_4^{3+}, ολικός P). Στην πορεία του έργου, σε επιλεγμένα δείγματα θα γίνουν αναλύσεις για φυτοφάρμακα, όπως και μικροβιολογικές αναλύσεις. Τέλος, για να μελετηθεί η επιβάρυνση του εδάφους από τους ρύπους θα γίνουν αναλύσεις εδάφους σε διαφορετικά σημεία της περιοχής. Σημειώνουμε ότι, οι προσδιορισμοί γίνονται με διάφορες επικαλυπτόμενες μεθοδολογίες (Capillary Ion Analyzer, φωτομετρικά, τιτλοδοτήσεις), ενώ ακολουθείται ειδική διαδικασία διασφάλισης της ποιότητας των εργαστηριακών αναλύσεων.

Στη συνέχεια, με βάση τα υδροχημικά δεδομένα του Σεπτεμβρίου (Πίνακας 1) γίνεται μια πρώτη ποιοτική αξιολόγηση των νερών της περιοχής έρευνας, με τη βοήθεια Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ποιότητα των νερών ελέγχεται από τρείς βασικούς παράγοντες. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τα αποτελέσματα της PCA ως προς τον πρώτο και δεύτερο παράγοντα. Για λόγους καλύτερης απεικόνισης έχουν αφαιρεθεί οι θέσεις με τις μεγαλύτερες αγωγιμότητες, που κυμαίνονται μεταξύ 3290 και 16700 μS/cm. Κυρίαρχος παράγοντας (40% της συνολικής μεταβλητότητας) είναι η υφαλμύρωση μεγάλου τμήματος των αλλουβιακών υδροφόρων, με αποτέλεσμα οι περισσότερες γεωτρήσεις και πηγάδια να παρουσιάζουν υψηλές αγωγιμότητες που οφείλονται στις υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και χλωρίου. Ο δεύτερος παράγοντας (με 22% της συνολικής μεταβλητότητας) αφορά τη διάλυση της γύψου. Η διεργασία αυτή εμπλουτίζει όλες τις καρστικές πηγές των τριαδικών λατυποπαγών και αρκετές από τις γεωτρήσεις με ασβέστιο και θειϊκά. Ο τρίτος παράγοντας (με 15% της



Σχήμα 2. Γραφική παράσταση Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (παράγοντας 1 και 2)
Fig. 2. Graphical representation of Principal Component Analysis (factors 1 and 2)

Πίνακας 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων Σεπτεμβρίου 2000

Table 1. Chemical Analysis, September 2000

Σταθμός	Τύπος	Data	pH	cond	T	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3	NO_2	NH_4	PO_4	Total N	Total P
				μS/cm	C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Γ1	Γεώτρηση	17/9/2000	7,52	1760	24,4	45,4	57,6	217,3	2,2	497,59	244	142	2	0	0,07	0,04	0,4	0,047
Γ5	Γεώτρηση	16/9/2000	7,59	7750	23,1	54,2	74,6	1184,7	17,2	393,56	62	1770	69	0,1	1,96	0,09	16,5	0,043
Γ6	Γεώτρηση	16/9/2000	7,94	8300	21	23,3	52	1660,2	23,8	917,70	125	2110	5,7	0,02	3,14	0,24	3,9	0,112
Γ8	Γεώτρηση	16/9/2000	7,16	9090	22	320,9	153,3	1543,3	42,6	364,52	1315	2030	5,5	0,01	<0,06	0,05	2,5	0,041
Γ9	Γεώτρηση	16/9/2000	7,18	3290	22,5	253,3	102,3	363,4	19,5	339,80	618	650	6,8	0,11	<0,06	0,07	2,7	0,047
Γ11	Γεώτρηση	17/9/2000	6,65	3000	23,8	551,5	75,8	115,4	9,7	284,95	1405	160	3,7	0,02	0,23	0,08	5	0,095
Γ12	Γεώτρηση	17/9/2000	7,68	755	21,1	45,4	20,4	37,9	3,9	313,38	36,7	24	16,1	0,15	<0,06	0,11	5,2	0,05
Γ13	Γεώτρηση	16/9/2000	7,6	901	23,7	27,4	26,6	104,7	1,2	398,20	44,8	58,69	2,8	0,02	0,34	0,13	2,2	0,055
Γ14	Γεώτρηση	16/9/2000	8,08	16700	22,8	38	162,8	3182	68,3	971,39	604	4140	28,8	1,25	0,2	0,32	8,6	0,138
Γ17	Γεώτρηση	16/9/2000	7,32	2110	23,5	130,5	42,8	88,1	112,9	292,94	232	236	114,9	0,24	<0,06	0,06	22,2	<0,5
Γ18	Γεώτρηση	16/9/2000	7,63	8380	22,8	98,9	238,7	1240,3	18,2	549,15	522	2010	7	0,06	2,3	0,08	4,6	<0,5
Φ3	Πηγάδι	19/9/2000	7,47	1430	20,8	83	22,1	146,1	11,2	346,58	43,6	193,7	<0,22	0,01	<0,06	0,09	1,3	<0,5
Φ8	Πηγάδι	20/9/2000	7,67	705	21,9	78,9	12,1	28,1	3,1	188,48	63,2	36,2	52,65	0,01	<0,06	0,06	12,2	<0,5
Φχ	Πηγάδι	21/9/2000	7,89	343	24,0	35,9	7,2	14	1,9	167,37	18,4	18,83	1,03	0,03	<0,06	0,21	1,7	<0,5
Φχ1	Πηγάδι	19/9/2000	7,54	1350	20,2	60,3	36,9	136,6	9	512,42	51,7	87,8	<0,22	0,05	0,41	0,07	1,9	<0,5
Φχ2	Πηγάδι	16/9/2000	7,92	2060	21,9	60,5	69,3	232,8	26,3	507,60	235,4	114,7	3,2	0,13	0,33	0,12	2,4	<0,5
Π1	Πηγή	18/9/2000	7,54	940	17,5	149,5	14,3	16,9	2	208,98	223,0	25,58	5,77	0,01	<0,06	0,07	2,4	<0,5
Π2	Πηγή	18/9/2000	7,83	821	18,0	93,4	14,2	57,9	2,6	200,56	112,7	99,01	3,48	0,02	<0,06	0,09	2,3	<0,5
Π3	Πηγή	18/9/2000	7,76	654	17,0	87,2	11,1	24,8	2	180,43	118,8	37,92	3,59	0,01	<0,06	0,06	2,1	<0,5
Π4	Πηγή	18/9/2000	7,82	591	16,9	74	8,8	21,3	1,8	181,71	106,0	28	5,1	0,02	0,03	0,08	2	<0,5
Π5	Πηγή	19/9/2000	7,42	1870	18,5	162	33,4	165,8	9,9	226,07	286,9	252,6	15,1	0,01	<0,06	0,05	4,8	<0,5
Π6	Πηγή	19/9/2000	7,33	1420	19,0	168,6	30,2	104,2	9	243,88	290,4	152,1	12,39	0,01	<0,06	0,06	4,9	<0,5
Π7	Πηγή	18/9/2000	7,83	586	17,1	88,2	9	12,2	1,7	166,21	100,9	13,95	2,7	0,006	0,06	0,06	2,3	<0,5
Σ1	Á÷åëÿïò	19/9/2000	8,57	331	22,2	26,8	5,8	16,5	2,2	118,86	11,1	20,23	1,69	0,015	0,07	0,05	2,2	0,02
Σ2	Αχελώος	19/9/2000	8,26	323	23,6	38,4	8,6	25,7	2,3	174,14	14,0	30,89	1,97	0,018	0,09	0,07	2,5	0,02
Δ	Διώρυγα	19/9/2000	8,32	307	24,9	31,7	7,4	15,3	1,8	144,98	15,3	16,83	0,7	0,054	0,12	0,07	2,8	0,02
Δ1	Διώρυγα	19/9/2000	8,66	3090	25,0	26,1	7,6	14,9	1,8	145,95	16,3	15,36	0,83	0,056	0,13	0,08	2,4	0,03
Δ2	Διώρυγα	19/9/2000	8,64	305	25,3	29,5	7,8	14,8	1,9	149,43	16,3	17,59	0,68	0,048	0,05	0,06	2,7	0,02
ΔΙΜ	Διώρ. Δίμηκος	20/9/2000	8,06	382	17,7	39,4	6,3	13	1,5	157,42	10,0	15	7,7	0,015	0,03	0,08	3,1	1
A2	Κανάλι Οζερού	20/9/2000				29,4	5,9	13,3	1,7	138,57	14,7	17	1,17	0,017	0,07	0,1	1,7	0,03
D1	Αντλιοστάσιο	20/9/2000	8,16	930	26,2	54,7	16,9	78,9	8,4	234,55	55,9	93,19	<0,22	0,007	0,03	0,6	1	0,2
D2	Αντλιοστάσιο	19/9/2000	8,96	5790	26,9	50,5	86,4	759,4	24,6	157,24	220,0	1250	3,3	0,009	0,08	0,07	1,7	0,04
D4	Αντλιοστάσιο	17/9/2000	7,72	6220	19,9	236,1	57,6	367,2	13,9	275,13	480,0	745	6,3	0,03	<0,06	0,07	2,4	<0,5

συνολικής μεταβλητότητας) αφορά τη ρύπανση με κάλιο, νιτρικά και ολικό άζωτο.

Τα δείγματα αυτά παρουσιάζουν, σε μικρότερη κλίμακα, τα εξής κύρια χαρακτηριστικά (Σχ. 2): Υψηλότερες αλατότητες παρουσιάζουν τα πηγάδια (Φ) και κάποιες πηγές (Π), ενδιάμεσες οι υπόλοιπες πηγές και κάποιες γεωτρήσεις και χαμηλότερες τα επιφανειακά νερά (Α,Δ,Σ,ΔΙΜ). Επιπλέον, οι πηγές επηρεάζονται από τη διάλυση της γύψου, ενώ η σύσταση κάποιων γεωτρήσεων και πηγαδιών ελέγχεται περισσότερο από τη διάλυση δολομιτιωμένων ασβεστολίθων. Η υδροχημεία των επιφανειακών νερών παρουσιάζει ενδιάμεση σύσταση. Όσον αφορά την ποιότητα των νερών, οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη υποβάθμιση, με συγκεντρώσεις νιτρικών σε αρκετές περιπτώσεις > 50 mg/l. Ο Αχελώος, οι διώρυγες αλλά και οι αποστραγγιστικές τάφροι χαρακτηρίζονται από γενικά χαμηλές τιμές σε ενώσεις αζώτου. Τα φωσφορικά, με εξαίρεση κάποιες γεωτρήσεις και πηγάδια κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα (0,05 – 0,1 mg/l). Γενικά υψηλές τιμές καλίου εμφανίζουν τα υπόγεια νερά, οι αποστραγγιστικές τάφροι (μέχρι 27,7 mg/l) και κάποιες πηγές. Τέλος, σημειώνουμε ότι δείγματα βροχής έδωσαν σημαντικές συγκεντρώσεις ενώσεων αζώτου και φωσφόρου, συγκρίσιμες με αυτές των επιφανειακών νερών.

Δ) Εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων και μοντέλων διάχυσης ρύπων. Με τη βοήθεια των μοντέλων θα προσομοιωθούν οι υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Επίσης, θα γίνει προσομοίωση της διάχυσης των ρύπων που προέρχονται είτε από την γεωργία, είτε από αστικά λύματα, είτε από άλλες δραστηριότητες, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά στο χώρο και στο χρόνο και θα υπολογισθεί η συνεισφορά της κάθε πηγής ρύπανσης ξεχωριστά. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας της περιοχής, η εφαρμογή των μοντέλων θα γίνει για επιμέρους περιοχές – λεκάνες.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα είναι τα εξής: Η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται κυρίως από τον Αχελώο προς τις αλλουβιακές αποθέσεις. Η υδροχημεία της περιοχής έρευνας παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις που οφείλονται, τόσο στην διαφορετική προέλευση των επιφανειακών νερών (Αχελώος, Δ20, αποστραγγιστικές τάφροι), όσο και στην ποικιλομορφία των υδροφόρων (ασβεστολιθικά συστήματα, ασβεστολιθικά/δολομιτικά λατυποπαγή με γύψους, υφάλμυρες αλλουβιακές αποθέσεις). Ο κύριος παράγοντας, που καθορίζει την ποιότητα των νερών της περιοχής έρευνας είναι η υφαλμύρωση των αλλουβιακών υδροφόρων, η οποία δεν παρουσιάζει συγκεκριμένη γεωγραφική κατανομή. Η διάλυση της γύψου των τριαδικών λατυποπαγών επηρεάζει, τόσο τη σύσταση των πηγών τους όσο και των υπόγειων νερών στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας. Τέλος κάποιοι υδροφορείς φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από τη διάλυση δολομιτιωμένων ασβεστολίθων.

Τα επιφανειακά νερά (Αχελώος, αρδευτικές διώρυγες) παρουσιάζουν ομοιογενή χημισμό. Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου σε όλο το σύστημα των επιφανειακών νερών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα, σε αντίθεση με τα υπόγεια νερά που είναι επιβαρυμένα ιδιαίτερα, με νιτρικά. Υψηλές τιμές καλίου εμφανίζονται, τόσο στα υπόγεια νερά, όσο και στις αποστραγγιστικές τάφρους. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα επίπεδα των θρεπτικών ενώσεων στη βροχή είναι συγκρίσιμα με αυτά των επιφανειακών νερών.

Συμπερασματικά η επιβάρυνση των νερών περιορίζεται κυρίως στους υπόγειους υδροφορείς, ενώ η γενικά καλή ποιοτική κατάσταση των επιφανειακών νερών αποδίδεται σε διεργασίες απονιτροποίησης και στη δέσμευση των φωσφορικών ενώσεων στα ιζήματα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους κ.κ. Φατούρο, Λιανό, Δρόσο, Κέντρου, Κωστοπούλου για την συμβολή τους στην υλοποίηση του προγράμματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BRAS, R. (1990). Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science, Addition – Wesley Publishing Company, Reading, MA pp 643.

ΜΑΡΙΝΟΣ, Π. (1993). Επί των υδρογεωλογικών συνθηκών του Δέλτα του Αχελώου με ιδιαίτερη έμφαση στις σχέσεις του ποταμού με τα υπόγεια νερά και τους υγροτόπους. Τεχνική Έκθεση, Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας, Αθήνα, 92 σελ.

NIKOLAIDIS, N.P., HENG, H., SEMAGIN, R. & CLAUSEN, J.C. (1998). Non-linear response of a mixed land use watershed to nitrogen loading.- Agriculture, Ecosystems & Environment, 67, 251-265.

ΝΙΚΟΛΑΟΥ , Ε. (1993). Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στο Δέλτα Αχελώου.- Τεχνική Έκθεση, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Αθήνα, 18 σελ.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1959-1966, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1959-1966, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΝΩ ΡΟΥ ΤΟΥ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ*

Γ. ΣΟΥΛΙΟΣ[1], Ε. ΖΑΓΓΑΝΑ[1], Τ. ΚΑΚΛΗΣ[1], Δ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετώνται οι μεταβολές των υδροχημικών χαρακτηριστικών των νερών κατά μήκος της ροής ορισμένων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης του Αλιάκμονα. Στη λεκάνη αυτή έγιναν τακτικές δειγματοληψίες νερού και χημικές αναλύσεις των δειγμάτων αυτών. Έτσι κατασκευάσθηκαν «υδροχημικές μηκοτομές» που δείχνουν τη διακύμανση της περιεκτικότητας διαφόρων στοιχείων ή ριζών μέσα στο νερό κατά μήκος της ροής. Οι μηκοτομές αυτές έγιναν τόσο για την υγρή, όσο και για την ξηρή περίοδο. Σε όλες τις περιπτώσεις φάνηκε ότι τα ιόντα Ca, Mg και η ρίζα HCO_3 αυξάνονται και ενίοτε μάλιστα σημαντικά κατά μήκος της ροής, ενώ τα ιόντα Na, Cl και η ρίζα SO_4 είτε μένουν σταθερά, είτε παρουσιάζουν μικρή τάση αύξησης. Πάντως δε υπήρξε σε καμμία περίπτωση μείωση της τιμής τους. Φαίνεται ότι η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι κατά μέσο όρο όσο περισσότερο κατάντι βρισκόμαστε τόσο περισσότερο χρόνο το νερό έχει παραμείνει στο υπέδαφος ή έχει έλθει σε επαφή με αυτό.

ABSTRACT

In this paper the variations of the chemical characteristics of water are studied along the flow of several branches of the hydrographical network of the drainage basin of Aliakmonas river. Regular samplings of water and chemical analyses of these samples have been made in this drainage basin. Therefore "Hydrochemical longitudinal profiles" have been traced in this way, which indicate the variation of the content of different elements or ions in the water, along the flow. These longitudinal profiles have been done for the humid as well as for the dry season. In all cases it appeared that the ions Ca, Mg and the ion HCO_3 are increased and sometimes even significantly, along the flow, while the ions Na, Cl and the ion SO4 either remain stable or these ions show a small tendancy to increase. In anycase, there has been no case of decrease of the value. It is shown that this increase is due to the fact that, in average, the lower points of the river the more the time that the water has remained in the subsoil or has come in contact with it.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδροχημικά χαρακτηριστικά, υδροχημικές μηκοτομές, αύξηση ιόντων, υδρογραφικό δίκτυο.

KEY WOOD: Hydrochemical characteristics, Hydrochemical longitudinal profiles, increase of ions, hydrographical network.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη απορροής του άνω ρου του ποταμού Αλιάκμονα, μέχρι το σταθμό μετρήσεων της Σιάτιστας, σχ. 1, έχει εμβαδό περίπου 2700 km^2. Είναι μια ορεινή λεκάνη που παρεμβάλλεται μεταξύ των ανατολικών παρυφών της βόρειας Πίνδου, του όρους Βέρνο, του όρους Άσκιο, του όρους Τρικλάριο. Έχει έντονο ανάγλυφο, μεγάλες κλίσεις εδάφους και μόνο ελάχιστα τμήματα της είναι πεδινά-επίπεδα.

Η εξεταζόμενη λεκάνη έχει έντονη βλάστηση, ιδίως στο δυτικό τμήμα της. Ανήκει στο 9° υδατικό διαμέρισμα της χώρας και με βάση στοιχεία των βροχομετρικών σταθμών της δέχεται μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων της τάξης των 800 mm. Μέσα στη λεκάνη υπάρχει μια λίμνη, η λίμνη Καστοριάς.

Διοικητικά το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης ανήκει στο Νομό Καστοριάς. Ένα μικρό τμήμα της ανήκει στους Νομούς Κοζάνης και Γρεβενών.

Μέσα στη λεκάνη αυτή έγιναν υδρολογικές-υδρογεωλογικές μετρήσεις-παρατηρήσεις-δειγματοληψίες με βάση το πρόγραμμα G.R.E.M. (Groundwater Recharge in Eastern Mediterranea) που χρηματοδοτήθηκε από

* HYDROCHEMICAL SURFACE AND UNDERGROUND WATER DATA OF THE UPPER PART OF DRAINAGE BASIN OF ALIAKMON RIVER

1. Α.Π.Θ. 54006 - Θεσσαλονίκη

την Ευρωπαϊκή Ένωση κατά την περίοδο 1997-2000. Ορισμένα από τα στοιχεία που προέκυψαν από την ω
άνω έρευνα παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

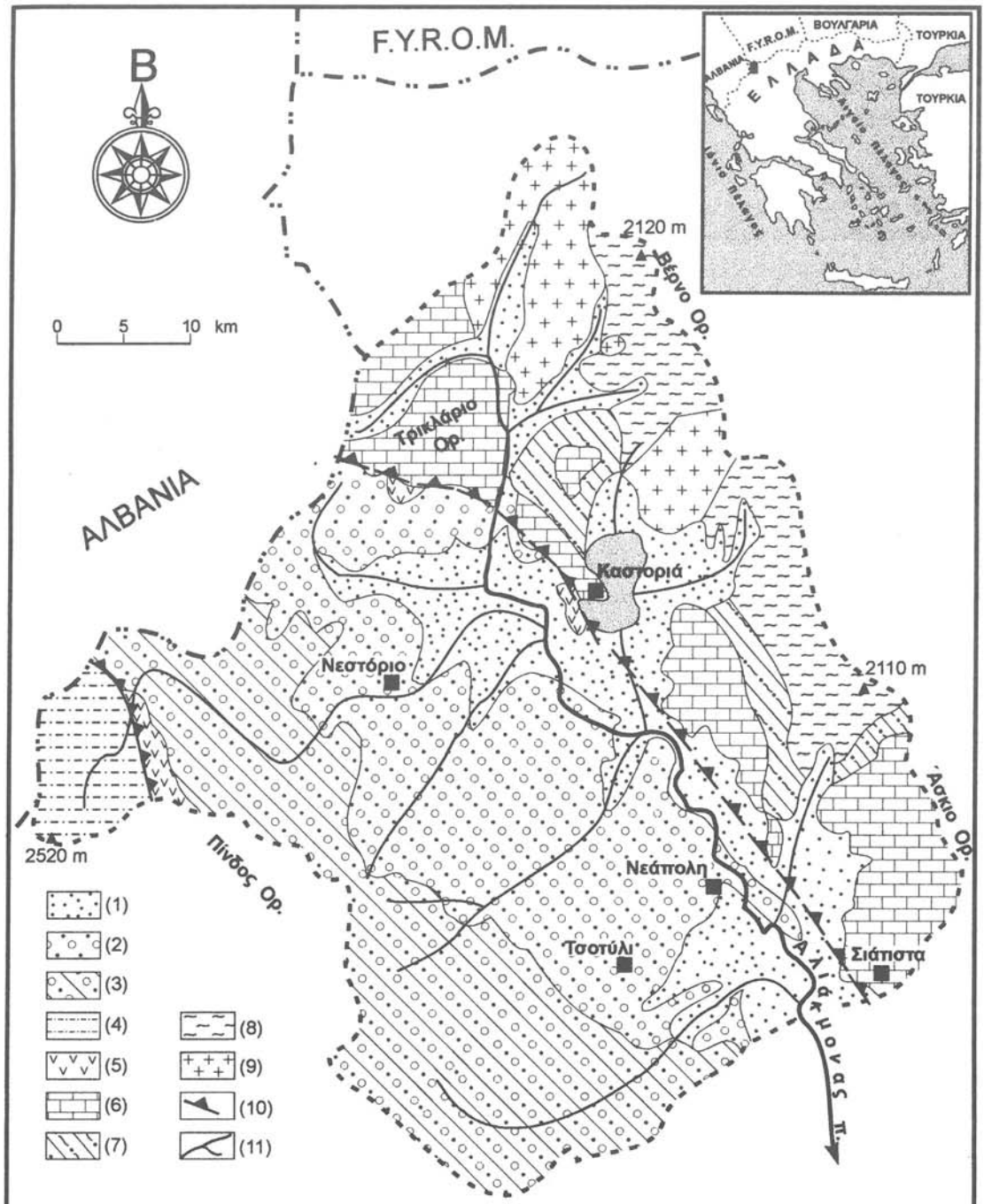
Για τη Γεωλογία της περιοχής έχουν δημοσιευθεί πολλές εργασίες. Θα αναφέρουμε μόνο αυτές πο
έχουν ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία.

- Ο BRUNN, J. (1956) μελέτησε όλη την ευρύτερη περιοχή και κυρίως την περιοχή Ασκιου, Πίνδου κα
  Μεσο-ελληνικής αύλακας
- Ο ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1983) μελέτησε την Πελαγονική στη δυτική Μακεδονία.
- Οι πιο κάτω χαρτογράφησαν γεωλογικά διάφορα φύλλα της περιοχής σε κλίμακα 1:50.000 και είναι ο
  εξής: SAVOYAT, E.-ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ.-BIZON, J. (1971), BRUNN, J. (1960), ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β.-ΤΣΑΪ
  ΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΣΤ.-ΜΑΥΡΙΔΟΥ, Φ.-ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ, ΣΤ. (1990), ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β.-ΡΟΖΟΣ, Δ.-ΤΣΑ
  ΪΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, ΣΤ.-ΜΑΥΡΙΔΟΥ, Φ.-ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ, ΣΤ. (1990), ΜΑΥΡΙΔΗΣ, Α.-ΚΕΛΕΠΕΡ
  ΤΖΗΣ, Α.-FAUGERES, K.,-ΤΣΑΙΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΣΤ.-MOSTLER, H.-ΔΗΜΟΥ, E. (1982), SAVOYAT
  E. – VERDIER, A. – ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ., - BIZON, J. (1971), SAVOYAT, E. – ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. -
  BIZON, J. (1971).
- Οι ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ.-ΛΕΚΚΑΣ, Ε.-ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η.-ΜΙΡΚΟΥ Π. (1988) δημοσίευσαν μία εργα
  σία για την εξέλιξη της Μεσοελληνικής αύλακας.
- Ο ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β. (1984) μελέτησε γεωλογικά την περιοχή νότια των Πρεσπών.

Ασφαλώς υπάρχουν πολλές άλλες εργασίες για τις οποίες δεν έγινε άμεση χρήση των στοιχείων τους εδ
και γιαυτό δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν.

Σύμφωνα με όλους τους πιο πάνω και το γεωλογικό χάρτη του σχήματος 1 (που έγινε μέ βάση το γεωλογικ
χάρτη της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000 και παρατηρήσεις των συγγραφέων), η μελετώμενη περιοχή ανήκε
στις ζώνες πελαγονική, Υποπελαγονική (που σε μεγάλο μέρος καλύπτεται από ιζήματα της Μεσο-ελληνική
αύλακας και ένα μικρό δυτικό τμήμα της στη ζώνη Πίνδου.. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται είνα
οι πιο κάτω (βλ. σχ. 1):

- Τεταρτογενείς σχηματισμοί (1). Αργιλλικές αποθέσεις, ποτάμιες αποθέσεις, πλευρικά κορήματα κλπ. Γε
  νικά έχουν μικρό πάχος, εκτός από την περιοχή πέριξ της λίμνης Καστοριάς.
- Μολάσσες σειράς Τσοτυλίου (2). Πάχος ποικίλο έως 2000 m. Ηλικία: Ακουϊτάνιο-Βουρδιγάλιο. Λιθολο
  γία: κυρίως μάργες, αλλά και μαργαϊκοί ψαμμίτες και κροκαλοπαγή.
- Μολάσσες σειράς Πενταλόφου (3). Συνολικό πάχος άνω των 2.500 m. Ηλικία: Ολιγόκαινο-Ακουϊτάνιο
  Λιθολογία: χονδρόκοκκα κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ενδιάμεση κυανή μάργα και εναλλαγές κροκαλοπαγών
  ψαμμιτών μαργών.
- Φλύσχης (4). Ηλικία κυρίως ηωκαινική. Ανήκει στη ζώνη Πίνδου. Είναι ο μόνος σχηματισμός της ζώνη
  Πίνδου στη λεκάνη που εξετάζουμε. Λιθολογικά είναι ψαμμιτικός-μαργαϊκός.
- Οφιόλιθοι (5). Ανήκουν στην Υποπελαγονική ζώνη. Ηλικία Άνω-Ιουρασική. Οι εμφανίσεις στα δυτικ
  της λεκάνης εφιππεύουν στη ζώνη Πίνδου.
- Μάρμαρα-Ανακρυσταλλωμένοι Ασβεστόλιθοι (6). Ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη. Ηλικία: Τριαδικό
  Ιουρασικό. Έχουν μεγάλο πάχος ίσως 1000 m συνολικά.
- Μετακλαστική σειρά (7). Ηλικία Περμο-Τριαδική. Λιθολογία: Φυλλίτες, μετα-αρκόζες, ασβεστιτικοί σχι
  στόλιθοι, χαλαζίτες, χλωριτικοί-μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι.
- Γνευσιακός πλουτωνίτης (γρανίτης) Καστοριάς (8). Ηλικία πιθανώς λιθανθρακοφόρο.
- Γνεύσιοι-μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (9). Αμφιβολίτες, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι. Ηλικία προλιθανθρα
  κοφόρο (Παλαιοζωϊκό-Προκάμβριο).
  (Οι σχηματισμοί 6 έως 9 ανήκουν στην Πελαγονική ζώνη).



Σχ. 1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

(1) Τεταρτογενείς σχηματισμοί (2) Μολάσσα (σειρά Τσοτυλίου), (3) Μολάσσα (σειρά Πενταλόφου), (4) Φλύσχης (Πίνδου), (5) Οφειόλιθοι, (6) Μάρμαρα-ασβεστόλιθοι Πελαγονικής (Τριαδικό-Ιουρασικό), (7) Μετακλαστική σειρά (Πέρμιο-Τριαδικό), (8) Κρυσταλλικό υπόβαθρο (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι), (9) Πλουτωνίτης Καστοριάς, (10) Εφίππευση, (11) Κύριοι κλάδοι υδρογραφικού δικτύου.

Fig. 1. Geological mar of the studied area.

(1) Quaternary formations, (2) Molassa (Tsot;yli serie), (3) Molassa (Pentalophos serie), (4) Flysh (Pindos), (5) Ophiolites, (6) Marbles-limestones of Pelagonia (Triassic-Jurasic), (7) Postclastic serie (Permian-Triassic), (8) Crystalline basement (gneiss, schists), (9) Kastoria plutonite, (10) Overthrust, (11) River network.

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Για την Υδρογεωλογία της περιοχής έχουν εργασθεί και έχουν κάνει σχετικές δημοσιεύσεις οι εξής:

- ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ, Π. (1983): μια διατριβή που αναφέρεται κυρίως στην πέριξ της λίμνης πεδινή περιοχή.
- ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (1985) σε μια μονογραφία για τα καρστικά υδροφόρα συστήματα αναφέρεται και σε κάποια συστήματα της μελετώμενης περιοχής.
- Οι KOUIMTZIS, TH.-SAMARA, C.-VOUTSA, D.-ZACHARIADIS, G. (1994) μελέτησαν τις χημικές παραμέτρους του ποταμού Αλιάκμονα.
- Οι ODLUFT, P.-ZAGANA, E. (1994) μελέτησαν το επιφανειακό υδρολογικό ισοζύγιο του Αλιάκμονα.
- Επίσης οι ως άνω δύο ερευνητές ZAGANA E.-UDLUFT, P. (1999) μελέτησαν το υδρολογικό ισοζύγιο και μοντελοποίησαν τη λεκάνη του Αλιάκμονα.
- Τέλος η ZAGANA, E. (2000) στη διατριβή της μελέτησε το υδατικό ισοζύγιο και το χημικό φορτίο στον ποταμό Αλιάκμονα.

4. ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΗΚΟΤΟΜΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε μέσα στο πρόγραμμα G.R.E.M. έγιναν διάφορες υδρογεωλογικές εργασίες μεταξύ των οποίων και μια σειρά δειγματοληψιών νερού και χημικών αναλύσεων. Τα σημεία δειγματοληψίας δίνονται στο χάρτη του σχήματος 2.

2. Οι περίοδοι κατά τις οποίες έγιναν δειγματοληψίες και αντίστοιχες χημικές αναλύσεις ήταν: i) 4-5/4/98, ii) 29-30/6/98, iii) 4-5/10/98 και iv) 2-3/4/99.

Η περίοδος 4-5/4/98 ήταν αμέσως μετά από μια βροχή και την τήξη του χιονιού μιας μεγάλης χιονόπτωσης, επομένως μέσα στο νερό του υδρογραφικού δικτύου υπήρχε μεγάλη ποσότητα από νερό με καθαρά επιφανειακή προέλευση. Η περίοδος 29-30/6/98 αντιστοιχεί σε ξηρή περίοδο, είχε προηγηθεί μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς βροχόπτωση. Άρα το νερό των ποταμών είχε σχεδόν αποκλειστικά υπόγεια προέλευση (από πηγές, μικροπηγές, αναβλύσεις). Επομένως οι δύο αυτές δειγματοληψίες θεωρούνται σημαντικές για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για τη μελέτη των αποτελεσμάτων τόσο της ανάμειξης υπόγειων νερών από διάφορα σημεία όσο και της ανάμιξης υπόγειων και επιφανειακών νερών έγιναν «υδροχημικές μηκοτομές».

Αυτές είναι διαγράμματα που προέκυψαν από αναλύσεις διαδοχικών δειγμάτων που λήφθηκαν κατά μήκος της ίδιας ροής αρχίζοντας από τα ανάντι προς τα κατάντι. Στα διαγράμματα αυτά στον οριζόντιο άξονα είναι οι χιλιομετρικές αποστάσεις (από την αρχή του ρεύματος) και στον κατακόρυφο η αντίστοιχη περιεκτικότητα σε διάφορα ιόντα ή ρίζες.

Έτσι λοιπόν έχουμε τις εξής τρεις μηκοτομές (με βάση το χάρτη του σχήματος 2):

α) R_1-R_2-R_4-R_8-R_{13} β) R_{17}-R_{18}-R_{19}-R_{21}, γ) R_7-R_6-R_8-R_{13}-R_{21}.

Έγιναν «υδροχημικές μηκοτομές» για τα εξής στοιχεία ή χημικές ρίζες Ca, Mg, Na, HCO_3, SO_4, Cl.

Προέκυψαν λοιπόν τα εξής:

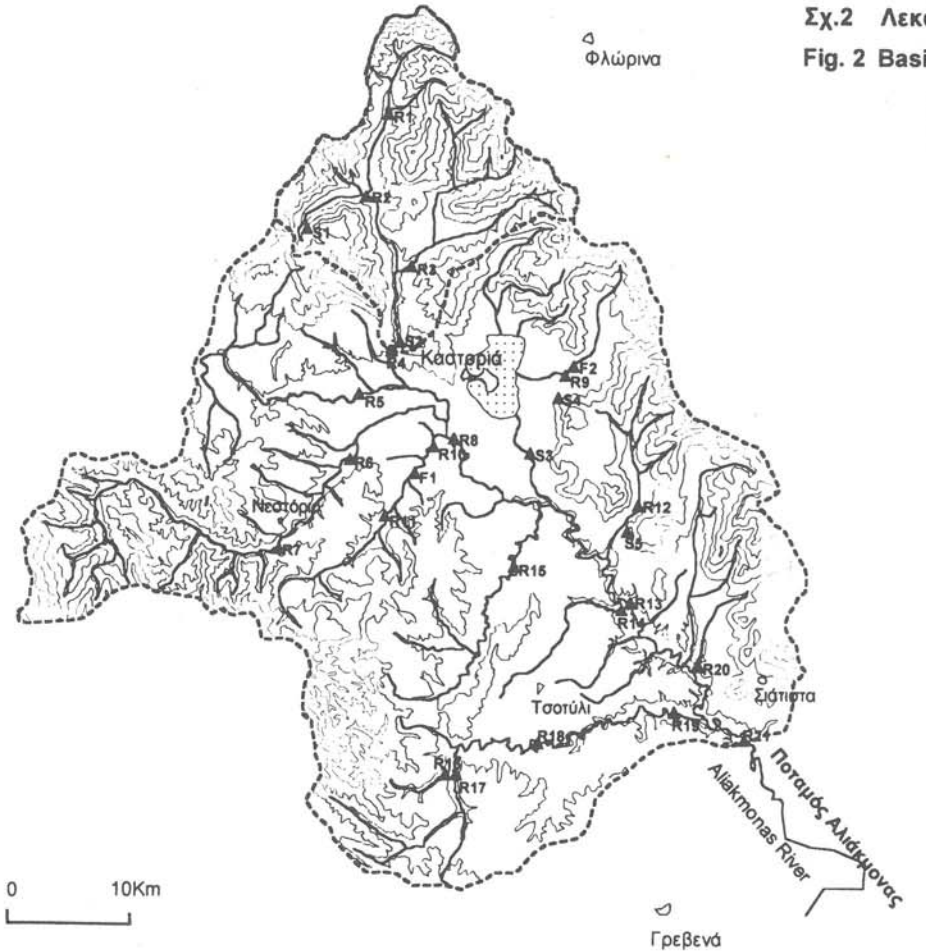
α. Στο σχήμα 3 δίνονται οι υδροχημικές μηκοτομές για την ξηρή περίοδο (29-30/6/98)

β. Στο σχήμα 4 δίνονται οι υδροχημικές μηκοτομές για την υγρή περίοδο (4-5/4/1998).

Τα διαγράμματα αυτά των υδροχημικών μηκοτομών μας επιτρέπουν να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις:

Τα ιόντα Ca κατά ένα γενικό κανόνα αυξάνονται από την άκρη του υδρογραφικού δικτύου προς τη διεύθυνση της ροής. Αυτό παρατηρείται τόσο κατά την ξηρή περίοδο όσο και κατά την υγρή. Υπάρχει μια μόνο εξαίρεση στον κλάδο R_{17}-R_{18}-R_{19}-R_{21},όπου παρουσιάζουν μια σταθερότητα.

Τα ιόντα Mg παρουσιάζουν επίσης μια τάση ελαφράς αύξησης κατά μήκος της ροής ή μένουν περίπου σταθερά. Σταθερά είναι κυρίως κατά την υγρή περίοδο. Σε μια μόνο περίπτωση στον κλάδο R_{17}-R_{18}-R_{19}-R_{21}, κατά την ξηρή περίοδο εμφανίζουν τάση μείωσης.



Σχ.2 Λεκάνη Απορροής του Αλιάκμονα

Fig. 2 Basins of Aliakmonas River

Σημεία δειγματοληψίας
Sampling points

R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
S1
S2
S3
S4
S5
F1
F2

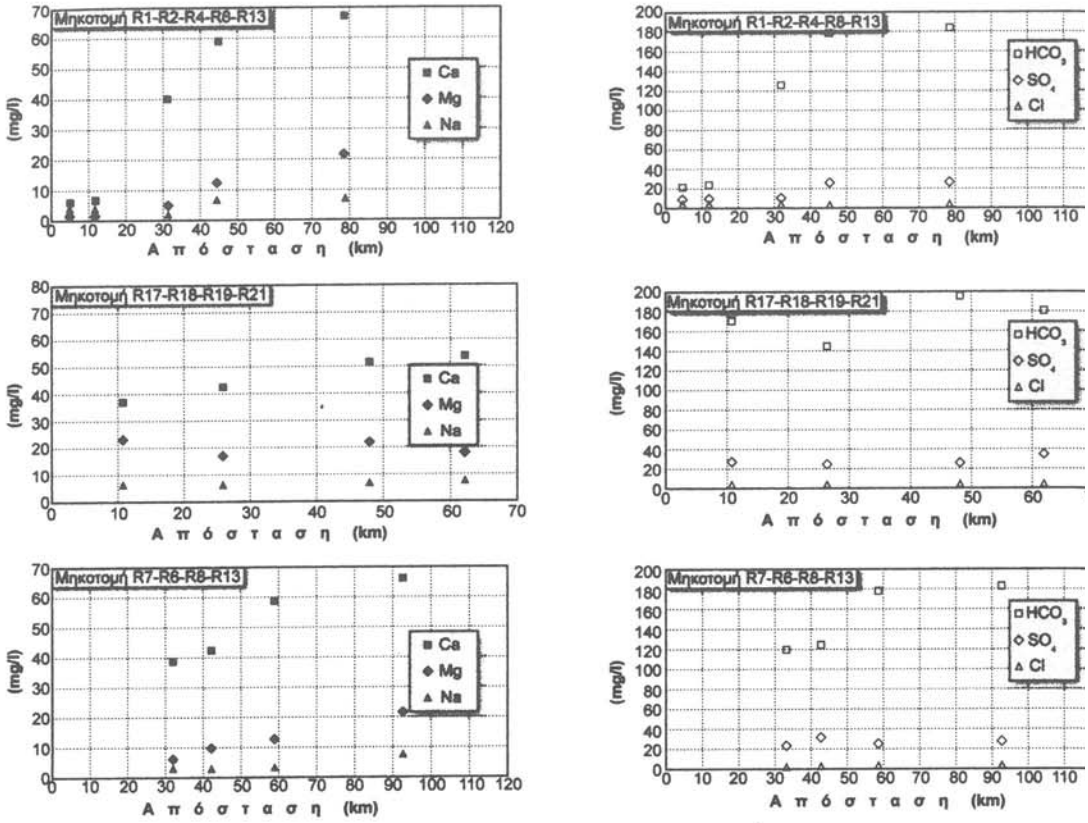
R Επιφανειακά σημεία
Superficial points

S Πηγές
Springs

F Γεωτρήσεις
Boreholes

Ημερομηνίες δειγματοληψίας
Dates of sampling

1. 4-5/4/1998
2. 29-30/6/1998
3. 4-5/10/1998
4. 2-3/4/1998



Σχ.3. Υδροχημικές μηκοτομές (29-30/6/98)
Fig.3. Hydrochemical longitudinal profiles (29-30/6/98)

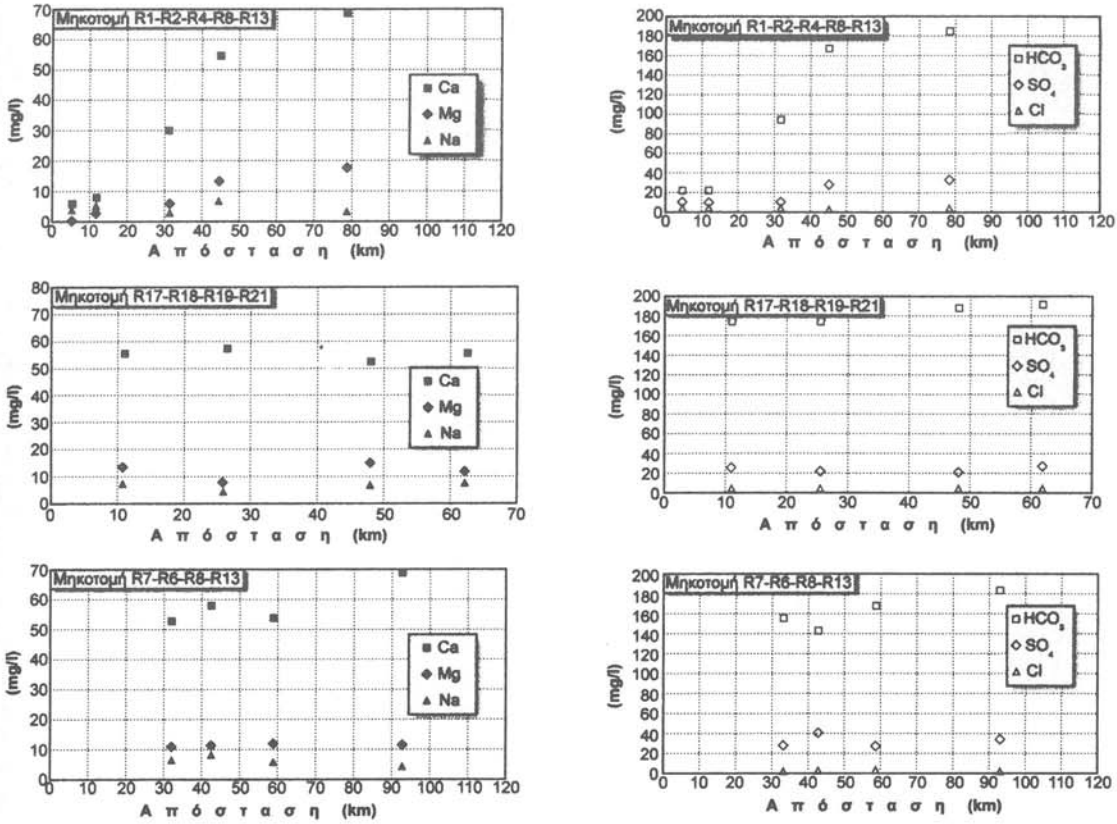
- Τα ιόντα Na παραμένουν σχεδόν σταθερά σε όλη τη διαδρομή με τάση αύξησης κατά την ξηρή περίοδο.
- Η ρίζα HCO_3 στις διαδρομές R_1-R_2-R_4-R_8-R_{13} και R_7-R_6-R_8-R_{13}- παρουσιάζουν σαφή και μάλιστα σημαντ κή αύξηση τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρή περίοδο. Όμως στη διαδρομή R_{17}-R_{18}-R_{19}-R_{21}, αύξηση είναι πολύ μικρή, αν και σαφώς φαίνεται ότι υπάρχει.
- Η ρίζα SO_4 σε όλες τις διαδρομές και κατά την υγρή και κατά την ξηρή περίοδο έχει περίπου σταθερή τιμ ή μικρή τάση για αύξηση κατά τη διεύθυνση της ροής.
- Τέλος τα ιόντα Cl είναι σχεδόν σταθερά σε πολύ χαμηλές τιμές κατά την υγρή περίοδο και με σαφώς υψ λότερες τιμές κατά την ξηρή περίοδο κατά την οποία εμφανίζουν τάσεις αύξησης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις και κατά την υγρή και κατά την ξηρή περίοδο τόσο τα ιόντα Ca, Mg όσο κ η ρίζα HCO_3 παρουσιάζουν αύξηση και ενίοτε σημαντική της περιεκτικότητας τους στο νερό.

Επίσης τόσο τα ιόντα Na, Cl όσο και η ρίζα SO4 είναι σε όλες τις περιπτώσεις και κατά την υγρά και κα την ξηρή περίοδο σταθερά ή έχουν μια μικρή αύξηση.

Σε καμμιά περίπτωση δεν παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας ιόντων ή ριζών κατά τη διαδρομ Ίσως μόνο αν έχουμε συμβολή με μεγάλο κλάδο, δηλ. ανάμειξη με μεγάλη ποσότητα νερού άλλου κλάδου, τό είναι ενδεχόμενο να παρατηρηθεί μείωση της περιεκτικότητας. Είναι εύλογο ότι όσο εξετάζουμε σημεία μετ κινούμενοι από τα ανάντι προς τα κατάντι μιας λεκάνης, τα αναβλύζοντα ή πηγάζοντα νερά έχουν κατά μέ όρο μεγαλύτερο χρόνο διαδρομής υπόγειας ή επιφανειακής, δηλ. μεγαλύτερο χρόνο επαφής με τα πετρώματ Θα πρέπει λοιπόν αυτό να είναι η αιτία της αύξησης της περιεκτικότητας σε ιόντα και ρίζες. Μάλιστα πολλ φορές η διαδρομή υπόγεια ή επιφανειακή ή μικτή είναι μέσα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, οπότε η υπόθ ση αυτή ισχυροποιείται.



Σχ.4. Υδροχημικές μηκοτομές (4-5/4/98)
Fig.4. Hydrochemical longitudinal profiles (4-5/4/98)

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ, Π. (1983): «Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης της Καστοριάς» - Διατριβή που εγκρίθηκε από το Τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ. σελ. , εκδόσεις Θεσ/νίκη 1983.

BRUNN, J. (1956): "Etude géologique du Pinde septentrional et de la Macédoine occindentalé"-Ann. Géol. Pays Hellén. 7, 1-358.

BRUNN, J. (1960) : Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, 1:50.000, φύλλο «Πεντάλοφου» -Εκδόσεις ΙΓΕΥ, 1960, Αθήνα.

ZAGANA, E. (2000): "Wasserhaushalt und Stofftransport im Aliakmonasgebiet (Nordwest Griechenland)". - Διατριβή 225 σελ. Πανεπιστήμιο του Wórzburg.

ZAGANA, E. – UDLUFT, P. (1999): „Wasserhaushalt im Aliakmonas Gebiet; Bilanzierung und Modellierung" - Hydrogeologie und Wnvelt, vol. 18, p. 9.1-9.31, Wurzburg.

KOUIMTZHS, TH. – SAMARA, C. – VOUTSA, D. – ZACHARIDIS, G. (1994): "Evaluation of chemical parameters in Aliakmonas river, Northern Greece. Part. I: Quality characteristics an nutrients. - Journal of Envir. Sc and Health, A29 (10) p. 2115-2126, New York.

ΜΑΥΡΙΔΗΣ, Α.-ΚΕΛΕΠΕΡΤΖΗΣ, Α.-FAUGERES, L.-ΤΣΑΪΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, ΣΤ.-MOSTLER, H.-ΔΗΜΟΥ, Ε. (1982): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Σιάτιστα» -Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα 1982.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1983): «Γεωλογική δομή της βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η Γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών Ελληνίδων» -Πραγματεία για Υφηγεσία, σελ. 1-289, εκδ. οίκος University Studio, Θεσ/νίκη.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. – ΛΕΚΚΑΣ, Ε. – ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. – ΜΙΡΚΟΥ, Π. (1988): «Συμβολή στη γεωδυναμική μελέτη της Μεσο-ελληνικής αύλακας». - Δελτίο της Ε.Γ.Ε. Τομ. XX, σελ. 17-36 (Πρακτικά του 3ου Συνεδρίου), Αθήνα.

ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β. (1984): «Γεωλογική μελέτη της περιοχής νότια των Πρεσπών» - Διατριβή, 320 σελ. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β. - ΡΟΖΟΣ, Δ. - ΤΣΑΪΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΣΤ. - ΜΑΥΡΙΔΟΥ, Φ. -ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ, ΣΤ. (1990) «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Καστοριά» - Εκδόσεις ΙΓΜΕ, 1990.

ΠΛΑΣΤΗΡΑΣ, Β. - ΤΣΑΪΛΑ-ΜΟΝΟΠΩΛΗ, ΣΤ. - ΜΑΥΡΙΔΟΥ, Φ. - ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ, ΣΤ. (1990) «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Κορυτσά-Μεσοποταμία» - Εκδόσεις ΙΓΜΕ, 1990.

UDLUFT, P. – ZAGANA, E. (1994): „Computer-aided water budgt of a mountainous cathment area (Aliakmonas, Greece))". - Proceeding of Man and Mountain, Vol. 94, p. 683-694, Ponte di Legno Italy

SAVOYAT, E. – VERDIER, A. – ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. – BIZON, J. (1971) "Γεωλογική χαρτογράφηση Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Άργος Ορεστικό» -Εκδόσεις ΙΓΕΥ, Αθήνα 1971.

SAVOYAT, E. –ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. – BIZON, J. (1971) "Γεωλογική χαρτογράφηση Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Νεστόριο» -Εκδόσεις ΙΓΕΥ, Αθήνα 1971.

SAVOYAT, E. – ΜΟΝΟΠΩΛΗΣ, Δ. – BIZON, J. (1972) "Γεωλογική χαρτογράφηση Ελλάδος 1:50.000, φύλλο Γρεβενά» -Εκδόσεις ΙΓΕΥ, Αθήνα 1972.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (1985): «Συμβολή στην Υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του ελληνικού χώρου» -Ανάτυπο του 23ου τόμου της Επιστημονικής Επετηρίδας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., σελ. 1-292, Θεσ/νίκη 1985.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1967-1972, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1967-1972, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΤΩ ΣΟΥΛΙΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ*

Ξ. ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ[1], Μ. ΤΖΙΜΑ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η διερεύνηση των συνθηκών υφαλμύρινσης των πηγών Κάτω Σουλίου ή αλλιώς «Μακαρίας Πηγής». Οι πηγές εκδηλώνονται με ένα ευρύ μέτωπο ανάβλυσης στο ΒΑ άκρο της πεδιάδας Μαραθώνα και εκφορτίζουν το καρστικό σύστημα των μαρμάρων Μαραθώνα. Λόγω των μεγάλων παροχών και της μόνιμης ροής τους, παρουσιάζουν ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Οι πηγές παρουσιάζουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων. Με βάση τα αποτελέσματα υδροχημικών αναλύσεων και γεωφυσικών διασκοπήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της «Υδρογεωλογικής Μελέτης Κάμπου Μαραθώνα Ν.Αττικής», προκύπτουν και αξιολογούνται τρεις διαφορετικές υποθέσεις σχετικά με τον μηχανισμό υφαλμύρινσης των πηγών Κάτω Σουλίου.

ABSTRACT

The present work is based on the results of a detailed multidisciplinary, hydrogeological investigation, which took place in the broader area of Marathonas basin. The salt intrusion mechanism of the springs of Kato Souli is outlined throughout this paper. Geologically, the study area belongs to the unit of Eastern Greece and it is mainly represented by alterations of marble (permeable formation) and shcists (impermeable formation) with a significant presence of younger deposits, which lay unconformably on the alpine features (Fig.1). The above-mentioned springs seem to discharge the whole Karstified system which develops within the Marathonas marble formation. The water flow doesn't occur through a single spring but instead, via an extended metope of springs on the contact with the quaternary deposits. The extremely high supplies as well as the permanent water flow (double the amount of the infiltrated water) indicate that there must be some subterraneous significant water additional supply. Hydrochemical analyses performed on water samples derived from these specific springs showed high values of electrical conductivity (4.603 μS/cm) as well as high concentration of Cl^- (1.244 mg/lt). This is a direct evidence that severe salt contamination has taken place.

The assumptions related to the salt intrusion flow pattern can be summarized as following:

a. Direct contamination of the Karst aquifer by the intruded seawater via the north edge of the marble exposure.
b. Contamination through hydraulic interconnection between the marble formation of Marathonas and the already contaminated karst aquifer, which develops in the neighboring Agia Marina marble formation.
c. Direct intrusion of the seawater into the karst aquifer of Marathonas marble, which takes place at Marathona Gulf.

The most acceptable case seems to be the second one, since many geochemical analysis, geophysical investigation co-operate to support it, without excluding a simultaneously function of the second and third intrusion patterns.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: πηγές, υφαλμύρινση, καρστικός υδροφορέας, υδραυλική επικοινωνία.
KEY WORDS: springs, salt intrusion, karst aquifer, hydraulic patterns.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ερευνητική εργασία αναφέρεται στην περιοχή του Κάμπου του Μαραθώνα, στο βορειοανατολικό τμήμα του Νομού Αττικής και αφορά το υφιστάμενο ποιοτικό καθεστώς και τη διερεύνηση των συνθηκών υφαλμύρινσης των καρστικών πηγών Κάτω Σουλίου ή αλλιώς «Μακαρίας Πηγής». Οι πηγές εκδηλώνονται με ένα ευρύ μέτωπο ανάβλυσης στο ΒΑ άκρο της πεδιάδας του Μαραθώνα και εμφανίζουν μεγάλη ποιοτική υποβάθμιση

*INVESTIGATION RELATED TO THE SALT INTRUSION MECHANISMS OF KATO SOULI SRINGS, MARATHONAS - ATTIKI.

1. Γ' Σεπτεμβρίου 166, 112 51 Αθήνα.

λόγω υψηλών τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υψηλών συγκεντρώσεων χλωριόντων.

Οι πηγές παρουσιάζουν μεγάλο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, διότι εκφορτίζουν το καρστικό σύστημα των μαρμάρων Μαραθώνα και παρουσιάζουν μεγάλες παροχές και συνεχή ροή νερού σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Οι ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν στα πλαίσια της «Υδρογεωλογικής Μελέτης Κάμπου Μαραθώνα Ν.Αττικής», η οποία ανατέθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας στους Συμπράττοντες Μελετητές Πασχ. Μελισσάρη και Ξεν. Σταυρόπουλο.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επικρατούν στην περιοχή ανήκουν στη «σχετικά αυτόχθονη» ενότητα της ΒΑ Αττικής. Τμήμα της ευρύτερης περιοχής καλύπτεται από μεταλπικές αποθέσεις του τεταρτογενούς και από νεογενή ιζήματα, τα οποία καλύπτουν κυρίως την πεδινή έκταση που εκτείνεται νότια της ζώνης Μαραθώνα - Κάτω Σουλίου - Λοιμικού. Οι αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτελούν τα ανώτερα μέλη της αυτόχθονης σειράς των μεταμορφωμένων σχηματισμών της ΒΑ Αττικής, αποτελούνται από μάρμαρα και σχιστόλιθους οι οποίοι αναπτύσσονται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης και διακρίνονται στα μάρμαρα Αγίας Μαρίνας (Αν.Κρητιδικό), στους σχιστόλιθους Ραμνούντας (Μέσο Κρητιδικό), στα μάρμαρα Μαραθώνα (Κατ.Κρητιδικό), στους σχιστόλιθους Μαραθώνα (Ιουρασικό;) και στο «ενδιάμεσο μάρμαρο» (Ιουρασικό;). (ΛΟΖΙΟΣ Σ.,1993).

3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Στην περιοχή έρευνας, μπορούν να διακριθούν δύο διαφορετικοί τύποι υπόγειων υδροφόρων.

1. Οι καρστικοί υδροφόροι που αναπτύσσονται στα μάρμαρα της Αγίας Μαρίνας, στα μάρμαρα του Μαραθώνα καθώς και στο σχηματισμό των ενδιάμεσων μαρμάρων.
2. Οι προσχωματικοί υδροφόροι που αναπτύσσονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις που αναπτύσσονται στην πεδιάδα του Μαραθώνα και στο νεογενή σχηματισμό του Λοιμικού.

Στην περιοχή μελέτης μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθοι υδρολιθολογικοί τύποι:

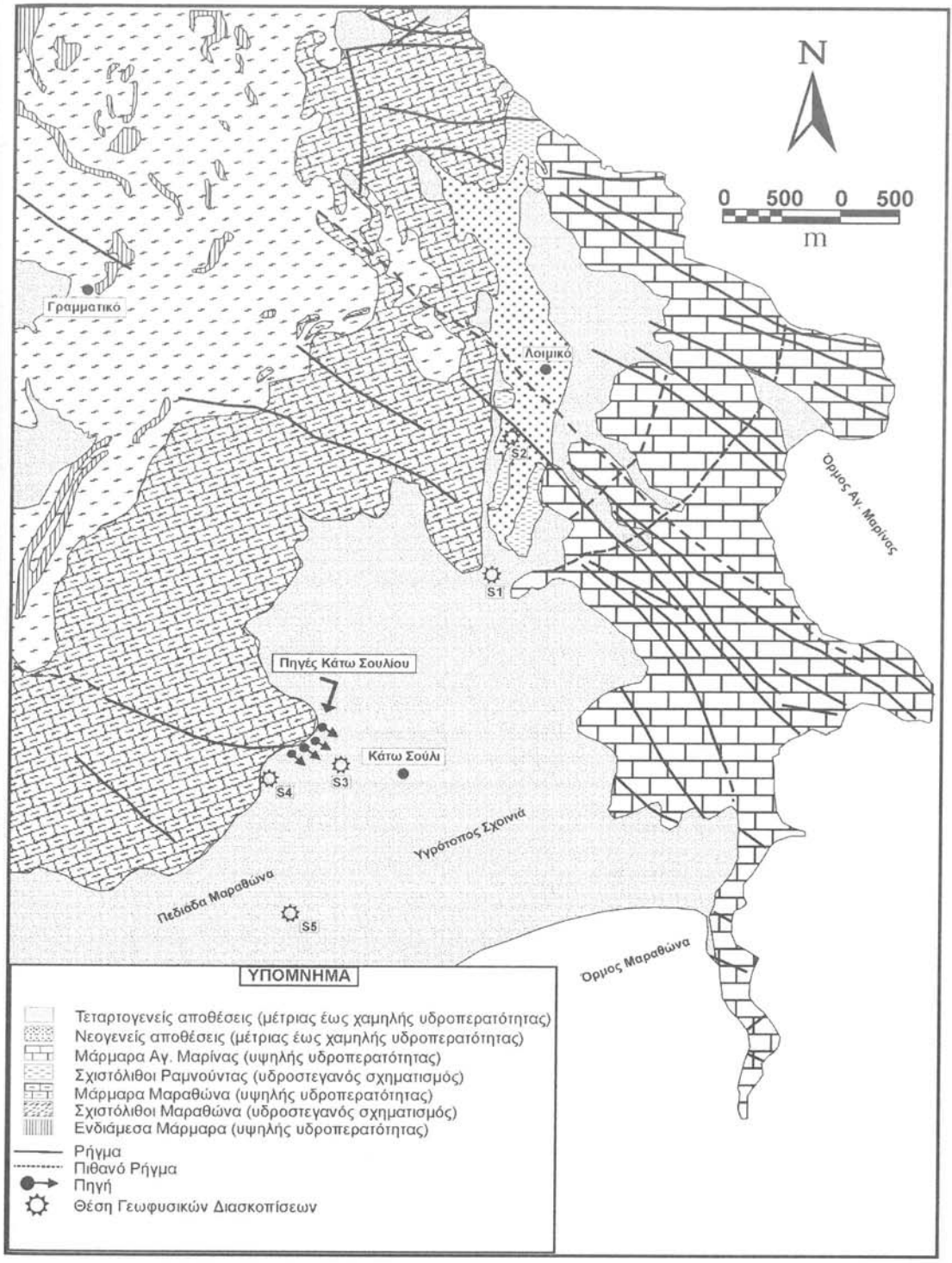
- Υδροπερατοί σχηματισμοί: Οι υδροπερατοί σχηματισμοί μπορούν να διακριθούν σε δυο υποκατηγορίες, σε αυτούς που παρουσιάζουν υψηλή και σε αυτούς που παρουσιάζουν μέτρια έως χαμηλή υδροπερατότητα. Στους σχηματισμούς υψηλής υδροπερατότητας περιλαμβάνονται τα μάρμαρα της Αγίας Μαρίνας, τα μάρμαρα του Μαραθώνα και το «ενδιάμεσο μάρμαρο». Η υψηλή υδροπερατότητα των μαρμάρων αποδίδεται στην έντονη τεκτονική καταπόνηση και στην παρουσία ρωγματώσεων σε όλο το ανάπτυγμά τους, στον κατακερματισμό των πετρωμάτων από πυκνό δίκτυο ρωγμών και διακλάσεων διαφόρων διευθύνσεων και στην καρστική διεργασία που έχουν υποστεί με αποτέλεσμα την δημιουργία καρστικών εγκοίλων και αγωγών. Στους σχηματισμούς μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας περιλαμβάνονται οι τεταρτογενής αποθέσεις και ο νεογενής σχηματισμός του Λοιμικού. Η υδροπερατότητα των σχηματισμών αυτών οφείλεται στα πετρώματα από τα οποία απαρτίζονται όπως οι αμιγείς άμμοι και τα χαλίκια καθώς και οι ψαμμίτες και τα λατυποκροκαλοπαγή τα οποία είναι πετρώματα υδροπερατά έως λίαν υδροπερατά. Η συμμετοχή όμως στους σχηματισμούς αυτούς, συνήθως με τη μορφή προσμίξεων ή ενδιαστρώσεων και υδροστεγανών πετρωμάτων όπως άργιλοι, ιλύες και πηλοί περιορίζουν την υδροπερατότητα των σχηματισμών και τους καθιστούν μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας.
- Υδροστεγανοί σχηματισμοί: Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται οι σχιστόλιθοι Ραμνούντας και οι σχιστόλιθοι Μαραθώνα. Η υδροπερατότητα των σχηματισμών αυτών είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να κατατάσσονται στην κατηγορία των υδροστεγανών.

4. ΚΑΡΣΤΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

Ο σχηματισμός των μαρμάρων Μαραθώνα αναπτύσσεται με επίμηκες σχήμα διεύθυνσης Β-Ν που αρχίζει από το βόρειο τμήμα του Κάμπου του Μαραθώνα και φθάνει μέχρι την περιοχή Λιμνώνας στον Ευβοϊκό κόλπο (Εικ.1). Πρόκειται για μάρμαρα λεπτοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη με μικρές διαστρώσεις πυριτολίθων και ενστρώσεις δολομιτικών μαρμάρων και σχιστολίθων.

Ο τεκτονισμός του σχηματισμού είναι έντονος και ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του. Πρόκειται για ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ τα οποία στο βόρειο τμήμα έχουν διεύθυνση σχεδόν Α-Δ και διατέμνονται από μικρό αριθμό ρηγμάτων με διεύθυνση Β-Ν.

Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι έντονη και εκφράζεται με εξωκαρστικές μορφές όπως γλύφες και μικρές καρστικές ταπεινώσεις.



Εικ.1. Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας. Διακρίνονται οι θέσεις των πηγών Κάτω Σουλίου και των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Fig.1. Hydrolithological map of study area. The springs, as well as the locations where the geophysicals investigations took place are indicated.

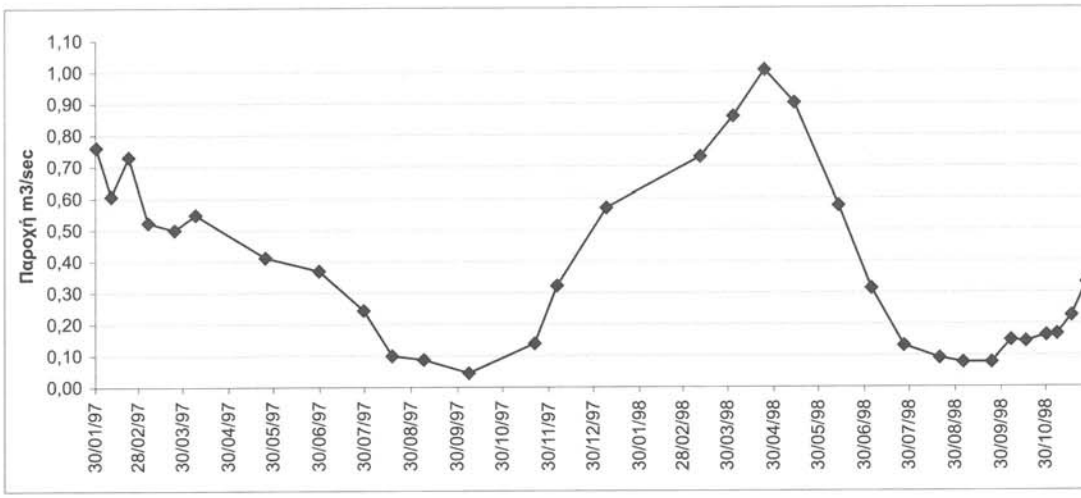
Το σύστημα είναι κατά ένα μικρό τμήμα του ανοικτό στη θάλασσα στο βόρειο άκρο της εμφάνισής το Στην υπόλοιπη περίμετρο του περιβάλλεται κυρίως από υδροστεγανούς αλλά και σχηματισμούς μέτριας έω χαμηλής υδροπερατότητας. Όλη η δυτική πλευρά του είναι σε επαφή με τους υδροστεγανούς σχιστόλιθους τα Μαραθώνα. Όλη η νότια πλευρά του και τμήμα της ανατολικής είναι σε επαφή με σχηματισμούς ημιπερατοι έως μέτρια υδροπερατούς αποτελούμενους από τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις.

Η έκταση της επιφανειακής εμφάνισης του σχηματισμού είναι 20,5 Km^2. Σύμφωνα με υδρολογικούς υπολ γισμούς και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής το οποίο υπολογίσθηκε ίσο με 550 mm, ο όγκος των βροχοπτώσεω που δέχεται είναι 11,3 x 10^6 m^3/έτος. Από την ποσότητα αυτή των βροχοπτώσεων στον όγκο των μαρμάρω εκτιμάται ότι κατεισδύουν 6,4 x 10^6 m^3/έτος (ήτοι ποσοστό 55%) και εμπλουτίζουν τον καρστικό υδροφόρ ορίζοντα.

5. ΠΗΓΕΣ ΚΑΤΩ ΣΟΥΛΙΟΥ Ή «ΜΑΚΑΡΙΑ ΠΗΓΗ»

Στο Ν - ΝΑ άκρο της εμφάνισης του προαναφερόμενου καρστικού συστήματος εκδηλώνεται το μέτωπο τα αναβλύσεων των πηγών Κάτω Σουλίου (Εικ.1). Οι θέσεις ανάβλυσης των πηγών δεν είναι εμφανείς διότι ολ το μέτωπο είναι καλυμμένο με καλαμώνες. Αμέσως μετά το μέτωπο ανάβλυσης τα νερά κατακλύζουν μια πι ριορισμένη ζώνη και στη συνέχεια καταλήγουν σε τεχνητή αποστραγγιστική τάφρο, η οποία ακολουθώντα σχεδόν ευθύγραμμη πορεία με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, καταλήγει στη θάλασσα.

Σύμφωνα με υδρομετρήσεις και υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν το χρονικό διάστημα 30/01/97 έω 26/11/98 (ΜΕΛΙΣΣΑΡΗΣ Π., ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ξ., 1999),η μέση μηνιαία παροχή των πηγών είναι 0,430 m sec και η συνολική ετήσια παροχή είναι 13,6 x 10^6 m^3. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην κύρια αποστραγ γιστική τάφρο των πηγών Κάτω Σουλίου, σε απόσταση 300 m περίπου από τη ζώνη ανάβλυσης των πηγών.



Εικ.2. Διάγραμμα διακύμανσης των παροχών σε σχέση με το χρόνο.
Fig.2. Fluctuation diagram of water supply versus the time.

Όπως προκύπτει, η ετήσια παροχή των πηγών είναι υπερδιπλάσια της μέσης ετήσιας ποσότητας νερού πο κατεισδύει και εμπλουτίζει τον καρστικό υδροφόρο των μαρμάρων Μαραθώνα. Το γεγονός αυτό υποδηλών ότι στον καρστικό υδροφόρο των μαρμάρων Μαραθώνα συντελείται υπόγεια εισροή σημαντικής ποσότητα νερών.

Όσον αφορά την υδροχημική σύσταση των νερών των πηγών πραγματοποιήθηκε σειρά δειγματοληψιά και υδροχημικών αναλύσεων για το χρονικό διάστημα Μάιος 1997 – Οκτώβριος 1998 (ΜΕΛΙΣΣΑΡΗΣ Π ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ξ., 1999). Από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων προέκυψε ότι οι τιμές της ηλ κτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται μεταξύ 3.050 μS/cm και 6.350 μS/cm με μέση τιμή 4.277 μS/cm. Οι τιμε αυτές θεωρούνται υψηλές έως πολύ υψηλές και αποδίδονται στην μεγάλης κλίμακας δευτερογενή φόρτιση τα νερών με άλατα. Οι τιμές των χλωριόντων κυμαίνονται μεταξύ 728 mg/lt και 1.775 mg/lt με μέση τιμή 1.137 m lt. Οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις των χλωριόντων αποδίδονται στην έντονη υφαλμύρινση του καρστικού

δροφόρου των μαρμάρων Μαραθώνα. Επίσης οι συγκεντρώσεις μαγνησίου, που κυμαίνονται μεταξύ 57,2 και 93,6 mg/lt και έχουν μέση τιμή 68,7 mg/lt επιβεβαιώνουν την υφαλμύρινση του υδροφόρου ορίζοντα.

6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ

Στα πλαίσια της διερεύνησης των συνθηκών υφαλμύρινσης του καρστικού συστήματος και με βάση την αξιολόγηση των στοιχείων που συγκεντρώθηκαν, διαμορφώθηκαν με βάση τα στοιχεία που αξιοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές υποθέσεις.

1η Υπόθεση:Η υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος συντελείται από τη διείσδυση θαλασσινού νερού στο βόρειο άκρο εμφάνισης του.

2η Υπόθεση:Η υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος συντελείται λόγω υδραυλικής επικοινωνίας με το έντονα υφάλμυρο καρστικό σύστημα της Αγ. Μαρίνας.

3η Υπόθεση:Η υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος συντελείται λόγω της πιθανής επέκτασης του προς νότο, κάτω από τις αποθέσεις του Κάμπου Μαραθώνα και του υγρότοπου του Σχοινιά και την ανοικτή επαφή τους με τη θάλασσα μέσα στον όρμο του Μαραθώνα.

Η πρώτη υπόθεση όπως προαναφέρθηκε, αποδίδει την υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος στη διείσδυση θαλασσινού νερού στο βόρειο άκρο της εμφάνισης των μαρμάρων Μαραθώνα όπου αυτά είναι σε άμεση επαφή με τη θάλασσα. Η ανοικτή επαφή των μαρμάρων με τη θάλασσα έχει έκταση 3 Km περίπου, θεωρείται όμως αρκετή για την υφαλμύρινση του υδροφόρου μέσω του έντονου δευτερογενούς πορώδους του σχηματισμού. Αμέσως νοτιότερα από το βόρειο άκρο της εμφάνισης των μαρμάρων από όπου γίνεται η υπόθεση ότι συντελείται η υφαλμύρινση του συστήματος, παρατηρείται μια σημαντική έκταση παρεμβολής σχιστόλιθων στο σχηματισμό των μαρμάρων με διεύθυνση ΝΑ – ΒΔ (Εικ.1). Η διεύθυνση αυτή αντιστοιχεί και στη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων που διατέμνουν την εμφάνιση των μαρμάρων. Η εμφάνιση αυτής της ζώνης των σχιστολίθων και η πιθανή αναθόλωση που δημιουργούν κάτω από τα μάρμαρα που εμφανίζονται κατά μήκος της ζώνης αυτής, θεωρείται ότι δημιουργεί έναν «υδροστεγανό φραγμό» για την «μετανάστευση» των υφάλμυρων νερών προς τα νότια όπου βρίσκεται το κύριο ανάπτυγμα του καρστικού σχηματισμού και όπου εκδηλώνονται οι πηγές του Κάτω Σουλίου. Αποτελεί δηλαδή, περιοριστικό παράγοντα για την υδραυλική επικοινωνία του τμήματος του σχηματισμού που είναι ανοικτό στη θάλασσα με την κύρια εμφάνιση του. Κατά συνέπεια περιορίζει και την τεκμηρίωση της υπόθεσης ότι η υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος γίνεται από το τμήμα του βόρειου άκρου του όπου είναι σε ανοικτή επαφή με τη θάλασσα.

Η δεύτερη υπόθεση βασίζεται στην παραδοχή ότι το καρστικό σύστημα των μαρμάρων Μαραθώνα είναι σε υδραυλική επικοινωνία με το καρστικό σύστημα των μαρμάρων Αγ. Μαρίνας, το οποίο αναπτύσσεται ανατολικά και είναι σε άμεση επαφή με τη θάλασσα και ότι η υφαλμύρινσή του οφείλεται στην υπόγεια κίνηση νερών από τον έντονα υφάλμυρο καρστικό υδροφόρο της Αγ. Μαρίνας προς τον καρστικό υδροφόρο των μαρμάρων Μαραθώνα. Η πλήρης υφαλμύρινση του καρστικού σχηματισμού εκφράζεται άμεσα από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών που αναβλύζουν στο μέτωπο των πηγών της Δρακονέρας. Πρόκειται για μέτωπο αναβλύσεων που εμφανίζονται στην επαφή των μαρμάρων Αγ.Μαρίνας με τις τεταρτογενείς αποθέσεις του υγρότοπου Σχοινιά. Από τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας τη χρονική περίοδο Μάιος'98, προκύπτει ότι τα νερά είναι έντονα υφάλμυρα με τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας 9.800 μS/cm και συγκέντρωση χλωριόντων 2.953 mg/l.

Μεταξύ των δυο σχηματισμών παρεμβάλλεται η ευρεία έκταση της περιοχής του Λοιμικού στο βόρειο και νότιο άκρο της οποίας παρουσιάζονται εμφανίσεις των σχιστόλιθων Ραμνούντας ενώ όλη η άλλη έκταση της καλύπτεται από τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις (σχηματισμός Λοιμικού)(Εικ.1). Ως πλέον πιθανό τμήμα μέσω του οποίου συντελείται υπόγεια υδραυλική επικοινωνία των δυο συστημάτων θεωρείται το νότιο και ειδικότερα η ζώνη μεταξύ των δυο καρστικών σχηματισμών νότια του οικισμού Αύρα. Στη ζώνη αυτή από τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε έντονη υφαλμύρινση των υδροφόρων οριζόντων με συγκεντρώσεις χλωριόντων που φθάνει έως και 1500 mg/lt. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δυο γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις, S1 και S2 (Εικ.1), από τις όπου προέκυψε ότι η γεωλογική δομή της ζώνης αυτής διαμορφώνεται από την ακόλουθη λιθολογική στήλη (ΠΑΣΧΑΛΗΣ Μ., ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ξ., 1999):

1. Σε βάθη από 0 έως 4-5 m εδαφικός μανδύας και προσχώσεις.
2. Από 4-5 m έως 41 m κροκαλοπαγή.
3. Από 41 m έως 125-140 m μάρμαρα.
4. Από 125-140 m έως και 400 m σχιστόλιθοι.

Η διασκόπηση S2 που έγινε βόρεια του οικισμού Αύρα έδειξε την ακόλουθη λιθολογική στήλη:

1. Από 0 έως 1,5 m εδαφικός μανδύας.
2. Από 1,5 έως 5,5 m κροκαλοπαγή.
3. Από 5,5 έως 103 m σχιστόλιθος στον οποίο μετά από βάθος 18 m καταγράφονται ενστρώσεις μαρμάρων.

4. Από 103 έως 400 m μάρμαρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των διασκοπήσεων S1 και S2 στη ζώνη μεταξύ των δύο καρστικών σχημα τισμών και κάτω από μικρού πάχους προσχώσεις αναπτύσσονται πετρώματα υψηλής υδροπερατότητας πο διευκολύνουν τις συνθήκες υδραυλικής επικοινωνίας των καρστικών υδροφόρων.

Η τρίτη υπόθεση αποδίδει την υφαλμύρινση στην πιθανή επέκταση των μαρμάρων Μαραθώνα προς νότο κάτω από τις αποθέσεις του Κάμπου Μαραθώνα και του υγρότοπου του Σχοινιά και την ανοικτή επαφή τους μ τη θάλασσα μέσα στον όρμο του Μαραθώνα. Η υπόθεση αυτή τεκμηριώνεται από τις υψηλές συγκεντρώσει χλωριόντων που κυμαίνονται από 600 mg/lt έως 1.000 mg/lt στις προσχώσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ τοι αναπτύγματος των μαρμάρων Μαραθώνα και της θάλασσας δεδομένου, ότι στην περιοχή αυτή δεν γίνοντα σημαντικές αντλήσεις από τον προσχωματικό υδροφόρο. Από την εκτέλεση γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων S3 S4, και S5 (Εικ.1) διαπιστώθηκε ότι τα μάρμαρα του Μαραθώνα βυθίζονται κάτω από τις προσχώσεις σι βάθος 50 - 60 m και παρουσιάζουν έντονες ενδείξεις κυκλοφορίας θαλασσινού νερού μέσα στον όγκο τους.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το καρστικό σύστημα των μαρμάρων Μαραθώνα, είναι κατά ένα μικρό τμήμα του ανοικτό στη θάλασσα στο βόρειο άκρο της εμφάνισής του και στην υπόλοιπη περίμετρο του περιβάλλεται κυρίως από υδροστεγανούς αλλά και σχηματισμούς μέτριας έως χαμηλής υδροπερατότητας. Η έκταση της επιφανειακής εμφάνισης του σχηματισμού είναι 20,5 Km^2, ο όγκος των βροχοπτώσεων που δέχεται 11,3 x 10^6 m^3/έτος και ο όγκος της κατείσδυσης 6,2 x 10^6 m^3/έτος.
- Οι πηγές εκδηλώνονται στο N-NA άκρο του σχηματισμού των μαρμάρων Μαραθώνα με ένα ευρύ μέτωπο αναβλύσεων. Πρόκειται για πηγές, οι οποίες εκφορτίζουν το καρστικό σύστημα των μαρμάρων, παρουσιάζουν μόνιμη ροή και συνολική ετήσια παροχή 13,6 x 10^6 m^3. Η μέση ετήσια παροχή είναι υπερδιπλάσια της μέσης ετήσιας ποσότητας νερού που κατεισδύει και εμπλουτίζει τον καρστικό υδροφόρο, γεγονός που υποδηλώνει την εισροή σημαντικής ποσότητας υπόγειων νερών.
- Όσον αφορά την υδροχημική τους σύσταση, παρουσιάζουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μέση τιμή 4.277 μS/cm) και υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων (μέση τιμή 1.137 mg/lt). Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν την έντονη ποιοτική υποβάθμιση του καρστικού υδροφόρου, λόγω υφαλμύρινσης.

Από τη διερεύνηση των συνθηκών υφαλμύρινσης των πηγών, προκύπτουν τρεις διαφορετικές υποθέσεις οι οποίες αξιολογούνται ως ακολούθως.

1. Η πρώτη υπόθεση σύμφωνα με την οποία η υφαλμύρινση του καρστικού συστήματος αποδίδεται στην άμεση επαφή των μαρμάρων Μαραθώνα με την θάλασσα κατ' αρχάς μπορεί να θεωρηθεί ως η πλέον πιθανή. Λόγω όμως της διαμόρφωσης των γεωτεκτονικών συνθηκών μπορεί σχεδόν να αποκλεισθεί.
2. Η δεύτερη υπόθεση αποδίδει την υφαλμύρινση της καρστικής υδροφορίας των μαρμάρων Μαραθώνα, στην υδραυλική επικοινωνία του σχηματισμού με τον έντονα υφάλμυρο σχηματισμό των μαρμάρων Αγίας Μαρίνας. Από την αξιολόγηση των υδρογεωλογικών συνθηκών, των αποτελεσμάτων των υδροχημικών αναλύσεων και των γεωφυσικών διασκοπήσεων προκύπτει ότι είναι η πλέον ισχυρή υπόθεση.
3. Τέλος η τρίτη υπόθεση, που αποδίδει την υφαλμύρινση στην άμεση επαφή του καρστικού συστήματος με τη θάλασσα σε αρκετή απόσταση από την επιφανειακή εμφάνιση τους στον όρμο Μαραθώνα είναι λιγότερο ισχυρή. Αξίζει να σημειωθεί πως επειδή η τρίτη υπόθεση δεν τεκμηριώνεται πλήρως, δεν αποκλείεται να ισχύει σε συνδυασμό με τη λειτουργία της δεύτερης υπόθεσης που είναι και η κύρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ Γ., 1977. *Γεωλογικός χάρτης κλ. 1:50.000*, φύλλο Ραφήνα.Ι.Γ.Μ.Ε.

ΛΟΖΙΟΣ Σ.,1993. *Τεκτονική Ανάλυση Μεταμορφωμένων Σχηματισμών Βορειοανατολικής Αττικής*. Διδακτορική Διατριβή - Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΜΕΛΙΣΣΑΡΗΣ Π., ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ Ξ., 1999. Υδρογεωλογική Μελέτη Κάμπου Μαραθώνα Ν.Αττικής. Υπουργείο Γεωργίας – Γενική Δ/νση Εγγ/κων Έργων & Γεωρ/κων Διαρθρώσεων – Δ/νση Γεωλογίας – Υδρολογίας.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1973-1979, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1973-1979, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

GEOLOGY OF THE ZAGREB AQUIFER SYSTEM

A. BACANI[1] AND M. ŠPARICA[2]

ABSTRACT

The aquifer of Holocene age that is currently supplying the City of Zagreb with potable water is exposed to contamination and to the verge of being overpumping. Thus, investigations on deeper deposits have been undertaken. Interpretation of geological structure and lithologic composition of the deposits has revealed deeper water bearing layers of Pleistocene and Upper Pliocene age which might play an important role in the future water supply of the city.

KEY WORDS: stratigraphy, tectonics, Quaternary, aquifer system, permeable layer, Zagreb, Croatia

1. INTRODUCTION

Water supply of the City of Zagreb, the Croatian capital (Fig. 1), is based on exploitation of groundwater from the aquifer of Holocene age. The results of the groundwater table measurements indicate continuous trend of decrease in groundwater level. This fact points to overpumping of the aquifer. Further, the poorly permeable overburden is either not encountered or has thickness of a couple of meters. Groundwater chemical analyses have shown that the most of the aquifer system surface is polluted to a certain degree. So far, fifteen Zagreb well fields within the narrower city territory have been closed down because of contamination. Overpumping and contamination indicate that the municipal water supply is seriously threatened. These are the reasons for which investigation of deeper deposits was undertaken. As a first stage, the interpretation of geological structure and lithologic composition on the base of existing data has been made, as elaborated below.

Fig.1. Location map

Investigated area encompases greater Zagreb (Fig.1). Regarding orography, three areas are distinguished: northern, belonging to the northern foothill zone of Mt. Medvednica to altitude of 340 m; central, belonging to the Sava River lowlands (about 100-120 m a.s.l.); and southern, belonging to the NE part of the hilly zone of the

1. Faculty of mining, geology and petroleum engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Croatia
2. Institute of geology, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Croatia

Vukomerièke Gorice hills.

For the preparation of the geological map in Fig. 2 were used the data from geological maps in scale 1:100,00(sheets: Zagreb, ŠIKIÆ et al. (1978); Sisak, PIKIJA (1987); Ivaniæ Grad, BASCH (1981).

2. STRATIGRAPHY

The geological characteristics of this area conditionally shows two highly diverse and hydrogeologicall; clearly individualized complexes: (a) geological units underlying the aquifer system and (b) rocks constituting th Zagreb aquifer system.

(a) Geological units underlying the aquifer system

The Paleozoic is represented by metamorphic rocks forming, on the surface, the central part of the Mt Medvednica (to the north of the research site) and consisting of parametamorphic and orthometamorphic rocks. I the underground, oil boreholes were drilled on different depths in these rocks (Fig. 3), and the rocks are made o chlorite schist, argillite, and low metamorphic subgraywacke (PAND•IÆ, 1986).

The configuration of the area of neogene sedimentation, had been initiated earlier or predetermined by th paleorelief forms (KRANJEC et al., 1978). The differential movement of individual blocks during Neogene cause frequent oscillations in coastal lines and interruptions in sedimentation, particularly on the basin boundaries. Th sedimentation had been continuous only in the deepest parts of the sedimentation area. The researched area i built of the Middle Miocene and Pliocene sediments.

The oldest Neogene sediments fall into Helvetian but they are not encountered on the surface of the analyze area. These are fresh water sediments of molasse type in erosion discordant relation with the Paleozoi metamorphites. They consist of conglomerate in base, and marl and sandstone.

Intensive tectonic activity in the wider region during Helvetian caused further progressive subsidence o individual areas and marine transgression in the Upper Helvetian. Transgressive sediments of Badenian (Fig.2, M_2^2) consist, in their basal part, of breccia and conglomerate, to be followed by alternating marl, sandy marl, sandstone and limestone. In some deep boreholes (PAND•IÆ, 1986), these sediments form direct overburden o the Paleozoic metamorphic rocks.

Regional geotectonic events during the period of transition from Badenian into Sarmatian in the Paratethys area, which affected this territory as well, caused marine conditions for sedimentation to cease and sedimentation area to disintegrate into separate basins and their salinity to decrease. Sedimentation of Sarmatian deposits (Fig. 2, M_3^1) occurred under the brackish conditions. They consist of marl, limestone and sandstone. During the Pannonian (Fig.2, M_3^2), salinaty decreasing of the sedimentation area continued and the sedimentary environment of Caspian brackish type was formed. The tectonic movements in the Upper Pannonian caused intensive sinking of this area and intensified accumulation of sediments and thickening of sedimented deposits. The lower portion is predominated by marly limestones, and the upper with marl and rarely sandstone. However, the boundary parts of the sedimentation area (including the SW part of Mt. Medvednica, Fig. 2), have partly been in regressive phase.

During the Lower Pliocene, tectonic activity of lower intensity continued, and its result is reduction and further salinity decreasing of the sedimentary environment with frequent occurrence of ingressive leaning of Pontian deposits against older sediments. Continuous sedimentation is happening of marly deposits in Lower Pontian (Fig.2, Pl_1^1) and of sandy deposits in Upper Pontian (Fig.2, Pl_1^2).

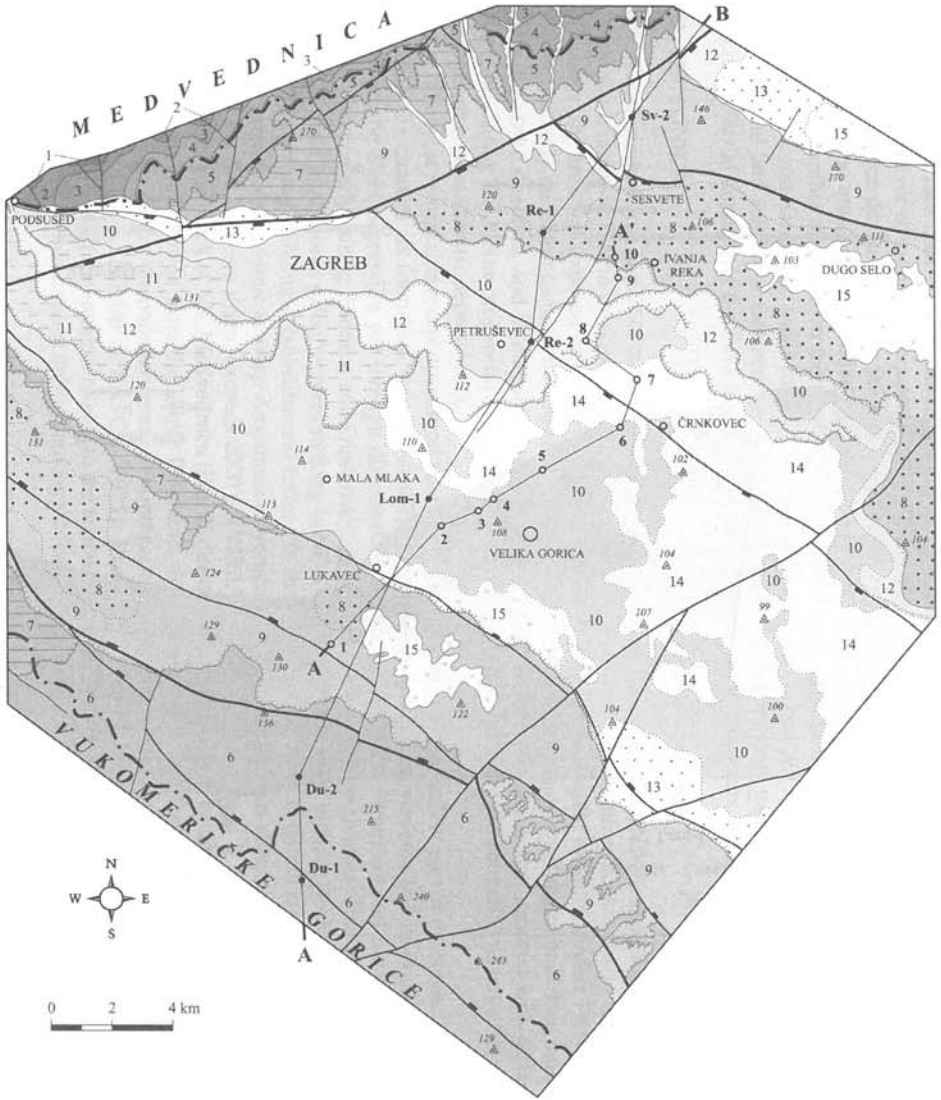
(b) Rocks constituting the Zagreb aquifer system

These include the Middle and Upper Pliocene (Fig.2, $Pl_{2,3}$) and Quaternary deposits which have direct importance for the hydrogeological analyses.

During the Middle Pliocene tectonic movements form a relief with pronounced altitude differences and reduction in sedimentation area. The fresh water deposits are sedimented: sand, gravel, clay with coal intercalations and conglomerate.

During the Upper Pliocene, the final stage in formation of the tectonic framework and relief of this greater Pannonian region stared. In this way, the uplifted massif of Mt. Medvednica and neighboring mountains became the source region of clastic material for sedimentation of the fluvial-lacrustine and proluvial sediments of the molasse-foreland type of Pliocene-Quaternary age (Fig.2, Pl,Q). The deposits have sedimented in the boundary areas of the existing lakes, while the coarse clastic materials (various gravels) were deposited along the banks, maybe even on the land as a proluvial drift cones. Fine-grained sediments (sand, clays) deposited in still lacrustine environments.

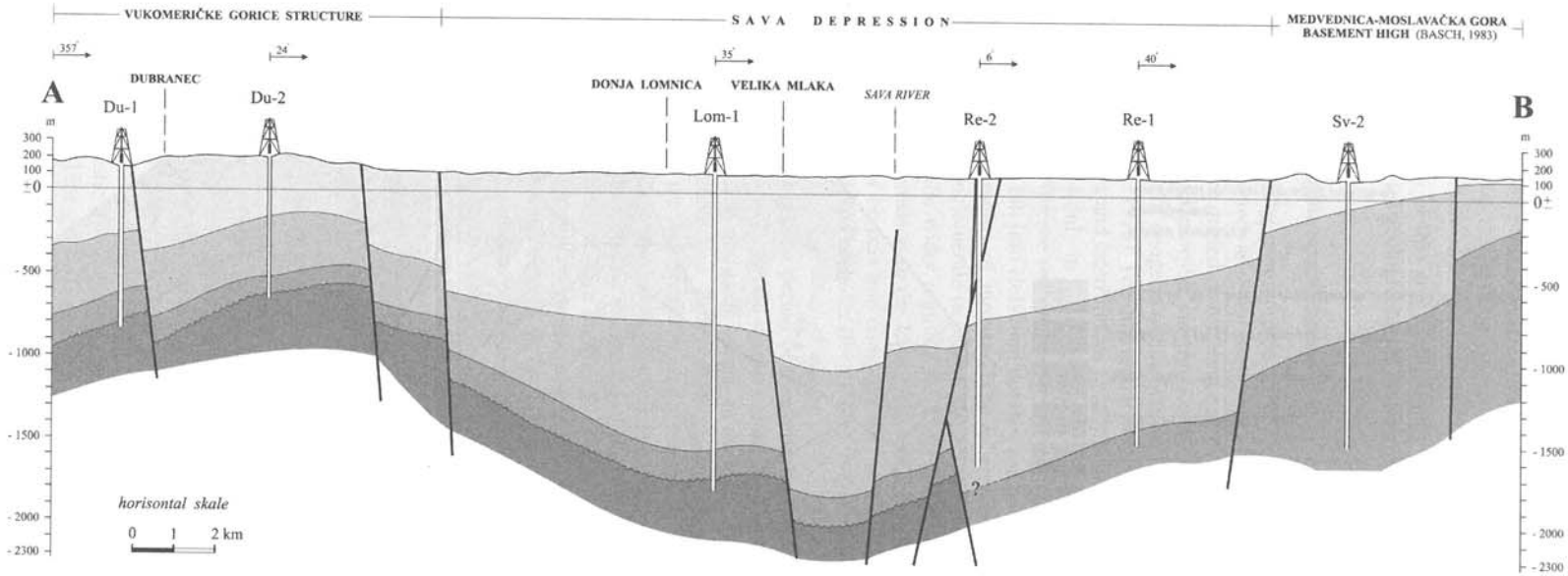
Sediments of Quaternary age cover most of the surface in the analyzed space. The sediments are divided into



LEGEND

15	*HOLOCENE (Q_2) marshy deposits (clayey silt)*
14	*HOLOCENE (Q_2) inundation deposits (sand and clay)*
13	*HOLOCENE (Q_2) proluvium, deluvium-proluvium (gravel, sand and clay)*
12	*HOLOCENE (Q_2) alluvial deposits of Sava river and tributary streams (sand and gravel)*
11	*HOLOCENE (Q_2) deposits of first Sava river paleoterrace (gravel, sand and clay)*
10	*HOLOCENE (Q_2) deposits of second Sava river paleoterrace (gravel and sand)*
9	*PLEISTOCENE (Q_1) continental loess (clayey silt)*
8	*PLEISTOCENE (Q_1) aquatic loess (clayey silt, silty sand, clay)*
7	*PLIOQUATERNARY (Pl, Q) gravel, sand and clay*
6	*MIDDLE and UPPER PLIOCENE ($Pl_{2,3}$) sand, gravel and clay*
5	*UPPER PONTIAN (Pl_1^2) sand, sandy marl, clay*
4	*LOWER PONTIAN (Pl_1^1) marl*
3	*PANNONIAN (M_3^2) marly limestone*
2	*SARMATIAN (M_3^1) marl, limestone, sandstone*
1	*BADENIAN (M_2^2) breccia, conglomerate, limestone, marl, sandstone*

normal boundary
disconformity
non-defined boundary (gradual transition)
major faults of depression
main faults
the fault without designation of character
dip element of fault
A — B *geological cross-section*
A — A' *hydrogeological cross-section*
the boundary of hydrogeological system
terrace scarp
Du-2 *oil well*
1 *hydrogeological well*
215 *elevation*



LEGEND

- *Middle and Upper Pliocene + Quaternary, (Pl+Q)*
- *Lower and Upper Pontian, (Pl)*
- *Middle Miocene (Helvetian-Pannonian), (M)*
- *Palaeozoic (Pz)*
- *Boundary of chronostratigraphic (lithostratigraphic) units*
- *Disconformity*
- *Fault*
- Lom-1 — *Label of well*
- A - B — *Label of geological cross-section*
- *Direction of cross-section*

Pleistocene and Holocene, and further subdivision respects the genetic types.

The deposits from the Lower Pleistocene have not been discovered on the surface. The boreholes revealed the sediments from the Lower Pleistocene of highly variable lithologic contents. Somewhere, they consist of sand mixed with clay containing carbonized plant remains (HERNITZ et al., 1981), while in other areas alternating clay and gravel have been encountered. The Middle Pleistocene deposits are characterized by significant permeability because of large content of sandy and gravel material. In the top parts of these deposits, same as in the deposits of the Lower Pleistocene, paleosol characteristics have been noted (VELIÆ & DURN, 1993). The sediments of Upper Pleistocene are predominantly of eolian origin. Depending on an environment which received eolian material, the aquatic loess and terrestrial loess were singled out. They alternate both vertically and laterally. They are discordantly sedimented on the bedrock and follow the structures formed in Upper Neogene. Their generation is connected with the colder periods in Pleistocene (glacial and stadials). In interstadials or interglacials, the fluvial sediments, fen clay and peat were deposited.

Late in Pleistocene, revival of the tectonic activity in paleofaults running in NW-SE direction and forming of new faults of the same orientation caused subsiding along the boundaries of Mt. Medvednica and Vukomerièke Gorice hills and formation of the Sava depression in a narrow sense. This tectonics enabled disintegration of the barrier and inflow of water from NW into the Zagreb depression (ŠIKIÆ & BASCH, 1975). The depression formed in this way was filled with river sediments in which courses of the Sava River and its tributaries gradually formed concurrently with characteristic forms of fluvial erosion and accumulation: river terraces, meanders, dead waters, sand-shelfs and the like. At the same time, the surrounding hilly zones were exposed to erosion and denudation, which formed a relief much similar to the present one.

On the surface, Holocene deposits are divided into a number of genetic types (Fig. 2). The sediments of the second Sava terrace consist of alternating coarse-grained gravel and sand. Among sedimentary structures, those important for river streams are frequent (imbrication, graded bedding and cross-bedding). The sediments of the first Sava terrace developed along the Sava River course (Fig. 2). Forming of the second terrace sediment was followed by the erosion and denudation phases, so that the Sava cut into its own sediments. Old riverbeds are visible in a number of places on the first terrace. The lithologic composition is predominated by coarse-grained gravel mixed with sand. The water for supply of the City of Zagreb is pumped from the first and second terraces.

Recent and subrecent sediments are of small thicknesses and some of them cover large surfaces. These include alluvial deposits of the Sava River, proluvial sediments, flood sediments and bog sediments (Fig. 2).

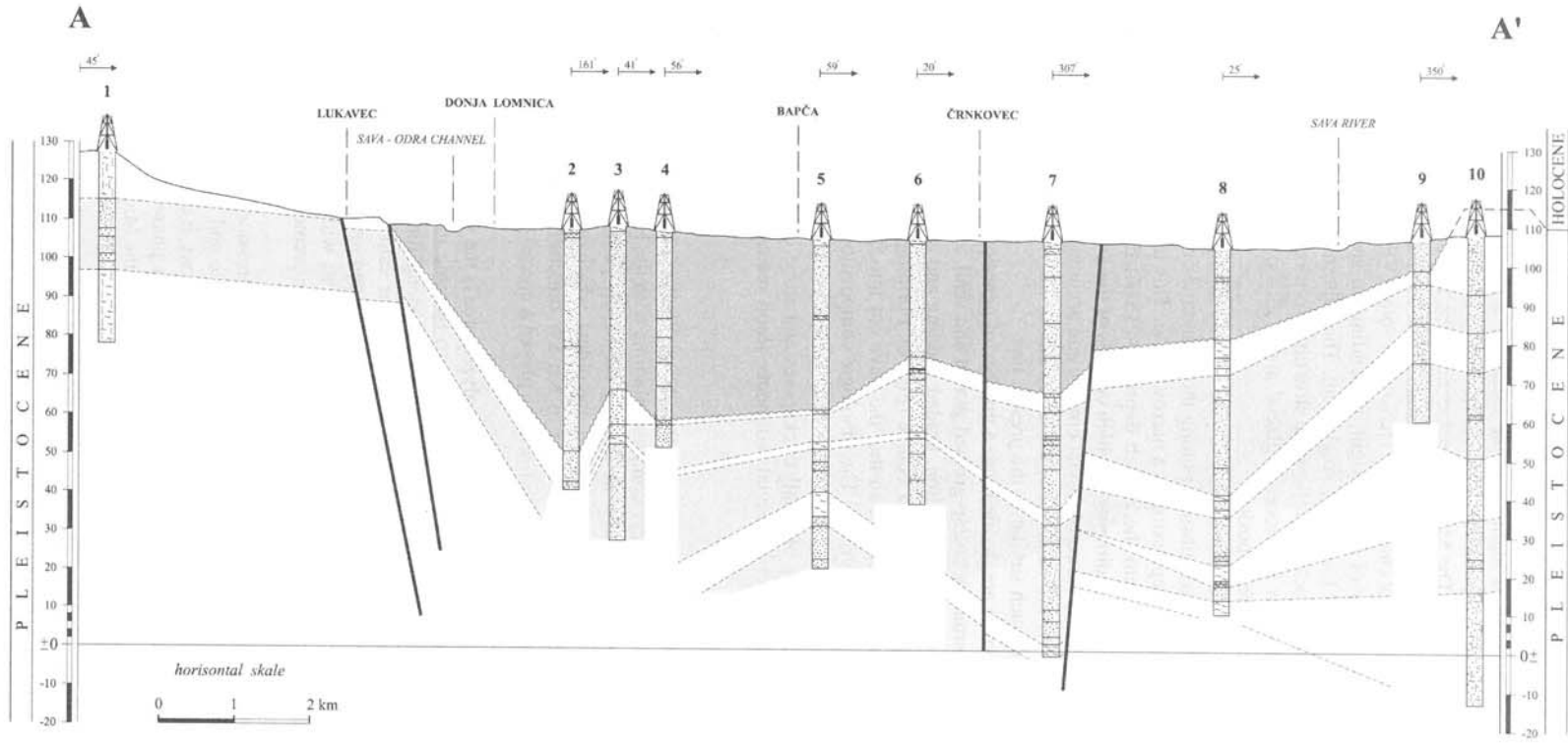
3. TECTONICS

The described area is part of the Dinaric Alps and Pannonian Basin on its far NW boundaries, and the Sava depression inside it. Due to its position and very complex relations with the boundary zones of Alps and Outside Dinarics, the area was exposed to intensive tectonic activity during the geological evolution. After PAND•IÆ, (1986), already the oldest tectonic movements (Paleozoic and older), which resulted in longitudinal deep faults of NW-SE strike direction, and in diagonal faults running in NE-SW direction, have also recurred with different intensity during the Alpine orogenetic cycle. These fractures played a crucial role in formation of large (regional) morphostructures (horsts, depressions).

The most remarkable morphostructural form in the analyzed area is the far NW part of the **Sava depression** (Figs. 2, 3). Start of its formation was initiated by the Pyrenean tectonic movements late in Eocene. Its basic contours the Sava depression got through differentiated subsiding along the "southern and northern boundary faults", particularly during Pliocene and Quaternary. In addition to the said longitudinal fractures, a significant role was plaid by diagonal paleofractures striking in NE-SW direction and in its vicinity (PAMIÆ, 1975; ŠIKIÆ, 1978). The greatest minimums (subsidences) formed in their intersections with longitudinal faults. These are the points of pronounced seismic activity. Amplitude of vertical subsiding movements along the boundary depression faults, also active in recent times, exceeds 2000 m (VELIÆ, 1980).

The tectonic block of **Mt. Medvednica** (Fig. 2) closes the Sava depression on the north-west. Its geotectonic evolution may be followed from the Upper Paleozoic, through Mesozoic and Tertiary when, as an independent tectonic unit or a part of the boundary area of disintegrated Pannonian mass, it considerably affected evolution of the neighboring areas (ŠIKIÆ & BASCH, 1975). However, the main phase in formation of the recent Mt. Medvednica structural framework is related to the tectonic movements in the Middle Miocene and Pliocene, when the complex Mt. Medvednica horst uplifted among the longitudinal faults of the SW-NE strike direction (PAND•IÆ, 1986).

The structure of **Vukomerièke Gorice** hills (Figs. 2, 3) is a positive form of the Dinaric direction which separated the Karlovac zone from the main Sava depression zone. The analyzed area encompasses NE parts of



LEGEND

- Holocene aquifer
- Permeable deposits (aquifers)
- Impemeable deposits
- Gravel
- Sand
- Silt
- Clay
- Peat
- Disconformity
- Fault
- 1 — Label of well
- A - A' — Label of hidrogeological cross-section
- 12° — Direction of cross-section

this structure. ŠIKIÆ, & BASCH (1975) related its formation to the tectonic activity during Quaternary.

4. HYDROGEOLOGY

Presently, the water supply of the City of Zagreb is based on exploitation of the groundwater from the Holocene gravel-sand aquifer that has been relatively well researched. However, this layer is underlaid by two to three gravel-sand intervals (Fig. 4) separated from the Holocene aquifer and from one another with poorly permeable clayey silt (loess). This is the material washed down during the Middle and Upper Pleistocene interglacials and interstadials by the streams from the neighboring mountains and deposited in the lakes and marshes. Due to such conditions of depositing high material heterogenity encountered, both vertically and laterally. In adition to detected Upper and Middle Pleistocene aquifers, there are indications of permeable layers inside Lower Pleistocene and Upper Pliocene deposits. The northern boundary of this aquifer system is an impermeable boundary interfacing with the Lower Pontian marl, and the southern boundary is a morphological divide running along the Vukomerièke Gorice ridge. The Zagreb aquifer system is a part of the Sava River catchment, so its western boundary could be defined as an inflow, and the eastern as the outflow boundary.

5. CONCLUSION

The Holocene aquifer supplying today the City of Zagreb with potable water is exposed to contamination and on the verge of being overpumping. Thus, investigations have been undertaken in deeper deposits. The conducted investigations have determined that the Holocene layer is underlaid with several permeable intervals of Middle and Upper Pleistocene age which might play an important role in the future water supply of the city. They are separated from the Holocene aquifer with clayey silt, and consist of alternating permeable gravel and sand. Their thickness is considerable. Their replenishment under natural conditions is the result of infiltration of precipitations in the Vukomerièke Gorice area. In adition to detected Upper and Middle Pleistocene aquifers, there are indications of permeable layers inside Lower Pleistocene and Upper Pliocene deposits. It is imperative that the additional geological and hydrogeological investigations be conducted for exact spatial position and exploitation reserves of these deposits to be determined.

REFERENCES

BASCH, O. (1981): Geological Map 1:100 000. Sheet Ivaniæ Grad L33-81. Inst. of geol., Zagreb (1976), Fed. Geol. Inst., Beograd.

HERNITZ, Z., KOVAÈEVIÆ, S., VELIÆ, J., ZELJKO, U. & URLI, M. (1981): An example complex geological-geophisycal investigations of Quaternary deposits in the surrounding of Prevlaka. *Geol. vjesnik*, 33, 11-34, Zagreb.

KRANJEC, V., HERNITZ, Z., VELIÆ, J. & PRELOGOVIÆ, E. (1978): Some characteristics of subsurface geological structure in the Western part of the Sava river depression (Pannonian basin). IX kongres geol. Jugoslav., Proceedings, 87-102, Sarajevo.

PAMIÆ, J. (1975): Large transversal fauts (Transform faults?) of the Inner Dinarides. II god. znan. skup Sekcije za primjenu geol. geofiz i geokem. Znan. savjet za naftu JAZU, Proceedings, A, 5, 126-137. Zagreb.

PAND•IÆ, J. (1986): Geology of the Pre-Tertiary base of the Southwestern part of the Pannonian Basin. INA-Naftaplin, 183 pp., Zagreb.

PIKIJA, M. (1987): Geological Map, 1:100 000. Sheet Sisak L33-93. Inst. of Geol., Zagreb (1986), Fed. Geol. Inst., Beograd.

ŠIKIÆ, D. (1978): Deep fault of the Zagreb zone. *Geol. vjesnik*, 30/1, 251-263, Zagreb.

ŠIKIÆ, K. & BASCH, O. (1975): Geological events from Paleozoic to Quaternery in the Western part of Zagreb area.II god. znan. skup Sekcije za primjenu geol., geofiz. i geokem., Znan. savjet za naftu JAZU, Proceedings, A, 5, 69-86, Zagreb.

ŠIKIÆ, K., BASCH. O. & ŠIMUNIÆ, A. (1978): Geological map 1:100 000. Sheet Zagreb: L38-80. Inst. of Geol., Zagreb, 1972. Fed. Geol. Institute, geol., Beograd.

VELIÆ, J. (1980): On the differention of neotectonic structures in the western part of the river Sava depression (Pannonian basin). *Geol. vjesnik*, 31, 175-184, Zagreb.

VELIÆ, J. & DURN, G. (1993): Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases During Quaternary: Preèko, Zagreb, Croatia. *Geol. Croat.*, 46/1, 71-91, Zagreb.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1981-1989, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1981-1989, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

SOME HYDROGEOLOGICAL AND GEOTHERMAL CONSIDERATIONS OF THE DRINOS-SARANDA AREA (SOUTHERN PART OF ALBANIA)

M.GJOKA[1], T. KANE[1], A. GJINI[1], E. TRIFONI[1], XH BUZI[2]

ABSTRACT

The paper deals with hydrogeological and geothermal conditions of this area that represent one of the largest karstic basins in Albania. From the geological setting the area consists of all types of deposits, but carbonates are predominant. The carbonate deposits represent eroded structures that are exposed in the highest parts of the relief, that in general is mountainous.

The heavy rains, developed karst, intensive circulation of waters as well as the isolation screens in west of Mali Gjere structure and within carbonate deposits have conditioned forming of several springs with different flows. With great interest are the data on the movements of underground waters in Drinos syncline and their influence of having of low geothermal gradient values in this area. There are many problems for their further study, carrying out of complex analysis as well as the monitoring and managing of these springs in conformity with international standards.

KEY WORDS: Mali Gjere, Drinos, Saranda, Syri Kaltert spring, underground waters, karst, geothermal feature, underground movement.

1. INTRODUCTION

The study in complex of the surface and underground waters, is an effective method to define their genesis and movement as well as to evaluate those. This paper aims to make a general presentation of the data for the Drinos-Saranda area. This area is located in southern part of Albania. It extends in Greece in south and east, Jonian Sea in west, and contacts with Kurveleshi massive in north.

In area many springs are evidenced that are related with deposits from Quaternary to carbonates of Triassic age. The waters with origin from carbonate deposits are predominated. These data are evidenced in several wells drilled in this area. There are also many data as to rivers that run through area and Butrinti Lake. The analysis is carried out at different periods for a period of time relatively long and for different purposes. This fact does not allow the comparison of these data and drawing of the exact conclusions.

Even the waters are present in area; there are several problems for their using. This is related with the manner of distribution of these springs, their yearly water flow, demographic development of area etc. The most important is the level of using of these springs, especially for public needs.

2. SOME DATA ON STRATIGRAPHY AND TECTONICS

The Drinos-Saranda area is part of the Jonian Zone. It is located in southern extremity of Albanian territory and continues in northern Greek territory.

The evaporate deposits outcropped in the western wing of the Mali Gjere structure is the oldest deposits encountered in this area. These deposits are exposed at the surface through tectonic faults(Fig 1). These deposits are also encountered by Delvina wells as well as the Butrinti-1 well that is drilled in Xara-Mursi diapir. These deposits consist of clays, breeches, dolomitic limestones, gypsum's, anhydrite, rock salt etc (Papa 1980). In contact with these deposits are massive dolomites of the Upper Triassic age that consist the central part of the Mali Gjere-Bogaz anticline and other structures in depth.

Successively on dolomite deposits lay carbonate deposits of Lower Jurassic to Paleocene age represented by dolomite limestones, algae limestones, crystalline limestones, pelitomorf limestones and micritic limestones intercalated with cherty lents etc. Within the carbonate section, the Toarian and Albian schistose beds are evidenced. The thicknesses of these deposits are considerable and these are assumed to be possible seals (Papa

1. Oil & Gas Institute, Department of Geology, Lagja 1 Maj, Fier-Albania
2. New Ventures, Albpetrol-Patos

1980). Sinsedimentary faults are evidenced in the Mali Gjere section, particularly in the Jurassic deposits. The Mali Gjere section is the only one pelagic section in Jonian Zone for Mesozoic deposits. With its position, exposure, characteristic biofacies, perfect bedding as well as the presence of the slumps horizons does it with special values for geosciences. The flysch section of Paleogene is represented by clays and sandstones intercalated with limestone beds which are more abundant in the oldest part of the section (Mertiraj 1985, Nazaj 1985).

The package of clays and marls with sandstone lay on the top of the section. It is with interest to emphasize that starting from Lower Jurassic to Hatian it is evident the reducing of thicknesses of these deposits from East to West and from wings to the tops of structures

The Aquitanian deposits are successive on the old ones while in Libohova those are with stratigraphic break on Oligocene deposits (Gjoka 1970). In the north of Drinos-Memaliaj syncline, the Burdigalian deposits are represented by successive marls and limestones while in Saranda area, the Burdigalian deposits are transsgesively to the flysch deposits. Characteristic is deposits of Burdigalian deposits that set up the Finiq hill.

The Langhian-Serravalian deposits in the northeastern part of Drinos syncline represent the regressive marine tongue towards north (Fig 1). In southwestern part, in Butrint zone and Xara-Mursi field it is distinguished transgressive laying of Pliocene deposits with presence of coal strata (Mertiraj 1985). The Quaternary deposits on the slops of mountains are represented by breccias, while in the values of rivers and in fields are represented by gravel and clays.

The structures have in general SE to NW orientation and continue in the form of chain, or northern periclines displaced towards east (Mali Gjere). In general, the structures are asymmetric, with smooth eastern wings while the western ones are faulted and overthruested towards west. There are cases of fan and back thrust structures, the most typical case is the Saranda anticline(Fig 2).

From East to West are evidenced:

- Anticline belt of Berati with carbonate structures of Lunxheri and Bureto
- Synclinal belt of Drinos-Memaliaj
- Anticline belt of Kurveleshi with huge carbonate structure of Mali Gjere, while in the west separated through Dhrovjan-Humelice syncline, are located the anticlines of Krongji-Shendeniko, that continue in north towards Bistrica and Ftera, anticline of Cerkovica that continue to the North in Fitore, Krane-Finiq, as well as the anticline of Cembeli, that are separated through the synclines of Velahovo Grazhdan and Memorahi.
- Synclinal belt of Vurgu
- Anticline belt of Cika, which consists of Saranda, Cembeli and Bogazi anticlines.

3. IN GEOMORPHOLOGY AND HYDROLOGY BRIEF

Generally, the area is a mountainous relief and with relative high quotes. The eastern chain of Lunxheri-Bureto that is interrupted by Selcka valley have a elevation of 1800-2100 m. Mali Gjere structure is high 1450-1600 m. Exception is Qafa Muzina with elevation of 572 m. Towards south the elevation reduces up to 1200 in the Albanian-Greek border.

The Dropulli valley is a narrow one between above-mentioned units, with presence of hills in eastern part. Its maximal width is up to 5 km. The Drinos River that runs through it has a water-collecting basin about 500 km^2 of which half is within Albanian territory. Kseria and Suha streams and Viroi spring close to Gjirokasta town pour in it (Fig.1). The average flow measured in Lekli bridge is 59.1 m^3/sec during the period with rains (October-April). The average yearly rainfall is over 2100 mm.(Pano 1985)

The Vurg field with a little bit hilly relief in eastern and southeastern part, is run from Kalasa-Bistrica rivers with a water-collecting basin about 450 km^2 with abundant flows during all year (Fig.1). Analyses data show water with similar features with it of Drinks River. Changes happened in water regime in 1969 when the pour of Beatrice River changed from into Burundi Lake to Saranac bay, in Coca (Piano 1985). In southern part meander the Paella River with a water-collecting basin about 375 km^2, of which 300 km^2 are within Albanian territory. The average yearly rainfall in Saranac area varies from 1300-1600 mm.

The Burundi Lake with a surface of 16 km^2 is located on carbonate and evaporates deposits of Triassic age. The connection of this lake with Joni and Sea and the active exchange of water are realized through a channel with a depth of 6m and a width of 160-80 m (Fig 1). The average depth of lake is 14 m, while the maximal depth is 23m. In southeast of Butrinti Lake is located the Reza Lake. The water of Butrinti Lake is salty, with total mineralization of 24–36 gr/l and of chloro–magnezial type. Up to the depth of 7 m it is determined a gradual increase salinity, while deeper is stabile (Tab 1). Waters of surface springs that pour in it, in southern part, in total have a flow of 850 l/min. These waters are very rich in H_2S and its decomposition has caused massive destroy of fauna. This phenomenon is identified by means of observations during last 40 years (Mertiraj 1985).

4. SURFACE AND UNDERGROUND WATERS, THEIR ORIGIN AND MOVEMENT

Drinos-Saranda area is the main water pool in Albanian territory, which is related with carbonate deposits. Carbonate deposits extend almost in 2/3 of region. Only Mali Gjere structure has a surface of 450 km^2. Information collected in wells drilled has proved continuation of the structures further, towards north.

Funnels, dolina and karstic fields, hanging valleys, vertical wells and caves with different dimensions characterize in general the morphology of the carbonates. In these carbonate deposits is developed poorly surface hydrographic net, in contrast with underground one, which is more developed. In conformity with degree and character of permeability, the waters are characterized by flowing in channels or the diffuse flow (Tafilaj 2000).

In the karstic zones, the effective infiltration reaches value of 45-55% of the annual rains. In Mali Gjere mountain, this value reaches 1200-1300 mm/year.

The karst phenomenon is developed in Saranda area as well. The western part of the Mali Gjere wing, the karstic phenomenon is well-developed. The same phenomenon is identified in the other carbonate structures. This phenomenon of karst is studied in the Bistrica tunnel, which penetrates Krongji mountain that it is opened for using of the water for power generation in the Bistrica hydropower station. Carbonatic massive of Mali Gjere represents a complex with huge water reserves and springs with rates from considerable to low. Water movement direction is different, for the lower horizon mainly it is towards west, as to two other upper horizons it is towards east without excluding flowing towards west.

Lower horizon (Upper Triassic-Lower Jurassic) is the most powerful horizon. It discharges huge quantity of water in the Syri Kaltert, Kardhikaqi, and Navarica springs. The springs are located over the contact between evaporates in north and flysch deposits in south that serves as screen. Syri Kaltert is the main spring. It has stable flow rate of 18.5 m^3/sec. Its elevation is approximately 365 m. The other horizons, which are separated from the Toarian and Albian shales hypsometrically, are relatively higher and in these deposits there are springs with low flow rates and have a seasonal character. Viroi spring is the main one, it is with considerable flow rate, but during the summer it dries up. Its origin is as result of infiltration of the rainwater in the depth through porosity, fractures and vogues. The same origin has and the cave of Kalogoranxi with a water table of 4 m above sea level in summer. In winter the water runs from cave to Kseria stream (Gjoka 1970) To emphasize developed karst in this region, the people of the region is still telling a legend where to drown bridge in Scotinia was found in Virua, 10 km in north.

Carbonate deposits in Drinos syncline set up a basin with intensive water flow up to its center at a depth 2000 m. and sometimes deeper. In the wells drilled in Erind and Nokova, during the testing it was identified the presence of fresh waters, similar with surface waters, with low temperature and of type bicarbonate-sodic. In these waters, bicarbonates, sulfates and other alkaline metals are predominant(tab 1). This depicts for a direct communication with surface and intensive flow. Higher mineralization and higher content of the components in the water of well Erind-2 in compare with that of the well Nokova-1, let us to draw the conclusion that there are two springs, this means one from Mali Gjere and the other from Lunxheria. (Fig 3)(Tab 1) The Glina spring is related with zone of the contact between carbonates and evaporates. It is of the type sulfate-sodic (Sota 1982). Due to its curative properties, it is used for a long period of time as drinking water. Last time, the cold waters of Uji Ftohte (Tepelena) and Libohova (Bureto) are using as drinking water.

Infiltration and flowing phenomenon in carbonates is present also in the west of Mali Gjere in Saranda, but with lower intensity. Typical is the water flow from Cerkovica and Livina to Fitore, Bistrica and Kalcat. The fresh waters of the bicarbonate-sodic type are encountered at different depths, from shallowest levels 200-500 m in Bistrica, Fitore and Delvina Fig 2), at medium depths approximate 1000 m. in Vana, and at depth 1500-2000 m. in west, in Fitore and Kalcat. In the wells of Fitore, during rains season discharge on the surface, while during the summer the water table is about 100-150 m from well heads (Tab 1).

Salted waters are encountered in the wells of the Crane, Finiq and Delvina fields. In general, the degree of filtration and circulation of waters are related both reservoir properties of the carbonates and development of the fractures and karst, that in the carbonates are heterogeneous.

In the Butrint-Mursi area, in the Bogazi anticline there are some water springs that are related with zones with good reservoir proprieties. Two zones with powerful springs are evidenced: One during the Pavla riverbed, in its deltaic part, nearby Jonian Sea and the other between them (Fig 1). Flow rates of springs are high, with waters of chloro-magnezial type and mineralization up to 4 gr/l (Mertiraj 1985). Wells drilled in the south of the Butrinti Lake have penetrated both Upper Triassic carbonates and Pliocene deposits. Analyses of waters from these wells show the same composition, due to low elevation up to lake level (Tab 1).

The flows of springs in Quaternary deposits, in the zone of the Vurg and Dropulli fields as well as those at

Nr	Well or Spring	Deposits	HCO3	CO2	Cl	SO4	Na+K	Ca	Iod	Brom	Type of waters
1	Erind-2 well	Carbonatic	292.8		426	134.4	508	10			Bicarbonato sodic
2	Nokova-1 well	Carbonatic	146.4	9.6	63.9		78.2	8	0.3	1,0	Bicarbonato sodic
3	Delvina-6 well	Carbonatic	3230.8	288	10117.5		7615,0	46.4	0.1		Bicarbonato sodic
4	Delvina-8 well	Carbonatic	366	60,0	173.9		246.1	16,0			Sulphato sodic
5	Fitore-1 well	Carbonatic	488	12,0	1420,0	441.6	929.2	56,0		0,5	Bicarbonato sodic
6	Fitore-2 well	Carbonatic	48.3	6.5	355,0	313.3	355.1	46.1			Bicarbonato sodic
7	Fitore-4 well	Carbonatic	231.8		131.3	270,0	150.3	50.4			Bicarbonato sodic
8	Kalcat-2 well	Carbonatic	73.2	48,0	17.8	19.2	1122.4	32,0			Bicarbonato sodic
9	Kalcat-3 well	Carbonatic	341.6		113.6	38.4	202.4	32,0	5.2	0,9	Bicarbonato sodic
10	Bistrica-1 well	Carbonatic	951.6		1597,0		1067.2	64,0			Sulfhato sodic
11	Vurgu-5 well	Carbonatic	512.4		9320,0	384,0	4517.2	1400,0		12.8	Chloro magnezial
12	Pusi-5 well	Carbonatic	231.8		262.9	67.8	158.9	53.5			Chloro magnezial
13	Pusi-26 well	Carbonatic	244.6		12.4	80.6	13.3	86.8			Chloro magnezial
14	Spring Viroi	Carbonatic	183,0	22,0	30.2	53.2	225,0	75.2			Bicarbonato sodic
15	L.Butrint surf		170.8	12,0	13666.5	1740.5	7779,0	274.4			Chloro magnezial
16	L.Butrint 8m depth		191.2		19170,0	1794.8	10802.2	411.6			Chloro magnezial
17	L.Butrint 18m depth		463		19410,0	2116.8	10883,0	410,0			Chloro magnezial
18	Spring Uji Ftohte	Carbonatic	183		10.7	9.6	20.4	52.4			Bicarbonato sodic
19	Spring. Libohove	Carbonatic	225.7		6.2			97.9			Bicarbonato sodic
20	Spring. Jerme	Flysch	402.6	120	12.4		17.5	58.2			Bicarbonato sodic
21	Spring. Gline	Carbonatic	219.6		21.3	460.8	23,0	240,0			Chloro calcic
22	Drinos Bridge Lekel		193		14.8	72.6	8.4	80.8			Bicarbonato sodic
23	Spring. Mesopotam	Burdigalian	39.4	6	39.4	21.3	72,0	39.1			Sulfhato sodic
24	Spring. Durmysh	Flysch	402.6		402.6	10.6	48,0	57.5			Bicarbonato sodic
25	Spring. Sopik	Flysch	414.8		414.8	44,0	86.4	11.5			Chloro magnezial
26	Spring. Cajup	Flysch	146.4		146.4	7.1	9.6	13.3			Bicarbonato sodic
27	Spring. Lazarat	Flysch	134.2		134.2	10.7		1.3			Chloro magnezial
28	Spring. Mingul	Akuitanian	256.2		256.2	7.2	28.8	17.5			Sulfhato sodic
29	Spring. Dhoksat	Quaternar	219.6		219.6	10.7		14.7			Bicarbonato sodic
30	Spring. Qesarat	Quaternar	353.8		353.8	10.5	57.6	33.6			Sulfhato sodic
31	Spring. Koder	Quaternar	207.3		207.3	10.6	14.5	4.6			Chloro magnezial
32	Vurgu-5 well	Carbonatic	3172	672	10690,0		8130,0	16,0			Bicarbonato sodic
33	Delvina-9 well	Carbonatic	793		15442.5	768,0	9154,0	1160,0			Chloro calcic

Table of resultats waters analysis(Tab 1)

wells drilled for water are low 0.4-4.5 l/sec. with origin from infiltration of the rains, with a static level 2-15 m, and of chloro magnezial type (Tab 1). During the summer period the flow rates are lower (Pano 1985). The springs of Quaternary (Pleistocene) deposits that are related with breccias of slopes mainly in the western flank of Lunxheria, are with low up to medium flow rates and bicarbonate-sodic and sulphate-sodic types (Papa 1980).

5. ON GEOTHERMAL CONDITIONS OF THE REGION

Based on the regional geothermal study, it is concluded that this area has geothermal gradient values lower than those of the western part of Albania (Gjoka 2000)(Fig 4). This phenomenon is due to predomination of carbonate deposits on surface. Developed tectonics and karst influence in these values. This phenomenon is also present in the northern part of Greece, where the values of geothermal gradient are lower then those in other part of territory (Tahtikos 1985). The abundant rains, intensive infiltration and circulation of the cold waters at considerable depth have caused the deformation and decreasing of depth temperature. Lateral effects of the underground water flow are present up to several kilometers far, while in itself carbonate structure have decreased considerable geothermal gradient (Gjoka 2000).

Based on direct geothermal data measured at wells drilled in Drinos area, the geothermal gradient results to be low (0.18–40^{0}C/100 m) in Libohova and Erind, whereas in Nokova area is –0.07^{0}C/100m. (Nokova-1 well). Despite of mistakes that come as result of the short period of leaving the well for stabilization, it result that at Nokova-1 well which is close to Lunxheri carbonate massive, the geothermal gradient to be negative. This supports what it is mentioned above.

In the southeastern part of Saranda, in the zone with intensive circulation and infiltration of the waters, the geothermal gradient is low (0.1^{0}C/100m). The data are measured in wells of Kalcati. From Butrinti towards north and from Delvina towards west (in Vana), the gradient values increase from 0.6 and 0.45 to 0.72 ^{0}C/100m respectively. Generally, these values are lower then in other part of Jonian Zone. These data show for a gradual increase of the geothermal gradient from east towards west. In the Jonian Sea, where Pliocene and Miocene deposits increase generally their thicknesses (as it was resulted from seismic acquisition performed in shelf) the value of gradient should be higher (Gjoka 2000).

The results of several analyses performed on samples collected on flysch deposits of Saranda area showed lower thermal conductivity than the other part of Jonian Zone. To draw accurate conclusions about this phenomenon, it is necessary that a great number of samples for all deposits of this area should be analyzed.

6. CONCLUSIONS

Studying of the Drinos–Saranda area brought us to the following conclusions:

1. The carbonate deposits dominating in the region build up anticline structures, in general asymmetric, with tectonic faults and overthrasted towards west. The mountainous and rather rough relief is related with development of this structure in time.
2. The presence of developed karst in this area favors a high infiltration that is about 45–55 % of annual rainfall on Mali Gjere region.
3. The presence of shale horizons within carbonate section and the screens mainly in the west have conditioned for Mali Gjere the presence of three water bearing horizons, where the first is the strongest.
4. On the western part of Mali Gjere, the springs are above the contact of evaporates or flysch that serve as screens, the most powerful is Syri Kalterte spring. On the eastern part, the Viroi springs and Skotinia are situated at the elevation 270m. The waters of springs are generally bicarbonate–sodic type and less of the sulphate–sodic type. The chemical composition of these waters is result of the type of rocks that these waters penetrate and the distance up to their springs.
5. The waters that discharge in the Butrinti Lake is relatively saline because during filtration these waters contact with evaporate diapir of Bogaz.
6. Hydrogeological underground pool does not match with it at surface. It is bigger because of communication with neighbor pools, such as the case of Mali Gjere and Lunxheria. Circulation proved at a distance about 20 km, from Erind-Nokova to Libohova shows that almost all the Drinos syncline has a intensive circulation of waters.
7. The presence of bromine and iodine at waters from Erind, Nokova, Fitore, Kalcat and Vurg wells shows that carbonate section is penetrated by migration of hydrocarbon.
8. The area is characterized by a low value of geothermal gradient sometimes to negative one which increases slightly passing to west and towards the sea it is excepted to be higher.

Distribution of hydrochemical parameters

The map of the distribution of chloride (Cl^-) in the aquifers (Figure 2) shows a general increase of the ion concentration down-gradient, to the north towards the coastal line. Chloride concentrations are lower along the main river courses and especially along the river Asopos, compared to the neighbouring areas. In addition to the afore observed trend, statistical analysis carried out exhibits a general increase of the chloride concentrations to an eastwards direction (Voudouris et al., 2000a). Despite however the described general trends, specific areas characterised by significant increase in chloride concentrations are observed along the coastal zone between Kato Assos and Vrachati and especially along the easternmost part of the studied region, between Lecheo and Ancient Corinth, as illustrated in Figure 2.

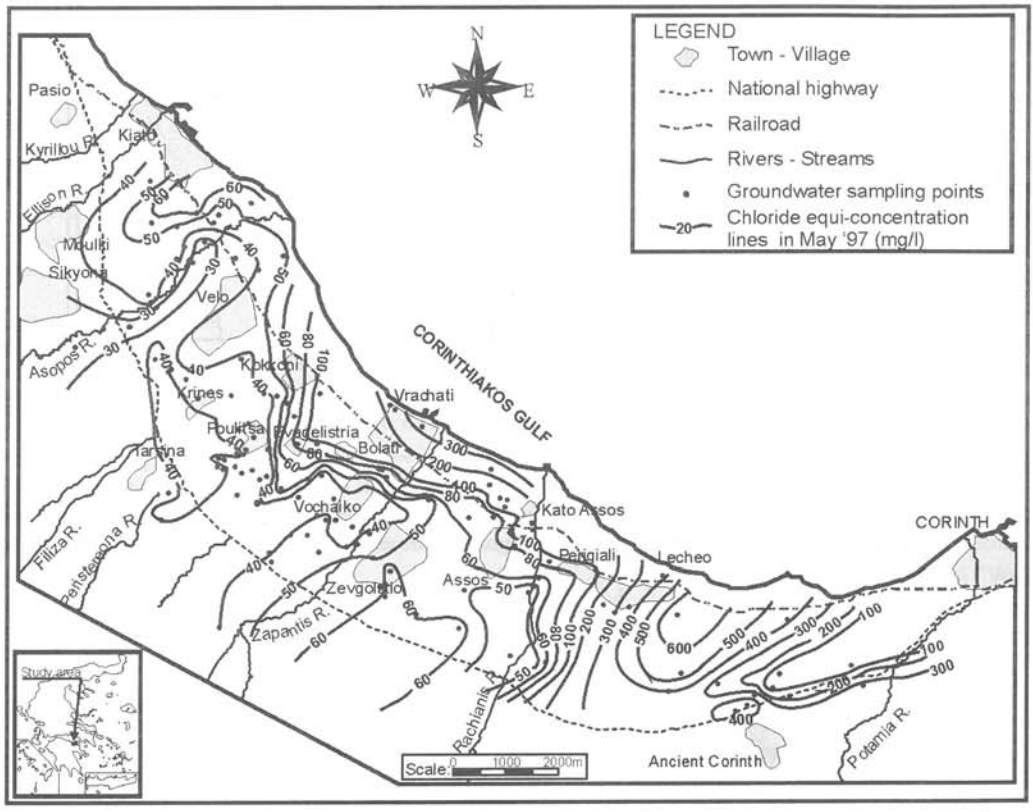


Figure 2: Chloride ion distribution map.

Nitrates are noticeable throughout the entire region (Figure 3), rendering most of the analysed waters improper for human consumption, as concentrations by far exceed 50mg/l (E.U. Council, 1998). No specific pattern can be identified with regard to nitrates concentration distribution. However, the following remarks may be made: highest concentrations are observed in specific areas, namely at Lecheo-Ancient Corinth area, Kato Assos, Kokkoni-Evangelistria, Krines, Zevgolatio, Velo-Moulki-Sikyona. On the contrary, low concentrations are mainly observed along the southernmost part of the studied region, and along the coastal lines at Vrachati and at the river Asopos estuary.

Electrical conductivity generally increases eastwards and this is also indicated by the statistical analysis of the hydrochemical data (Voudouris et al., 2000a), and reaches its peak at the Lecheo area (EC>4000μS/cm). On the contrary, its lowest values are exhibited along the southwestern part of the region, where river Asopos flows through the plain.

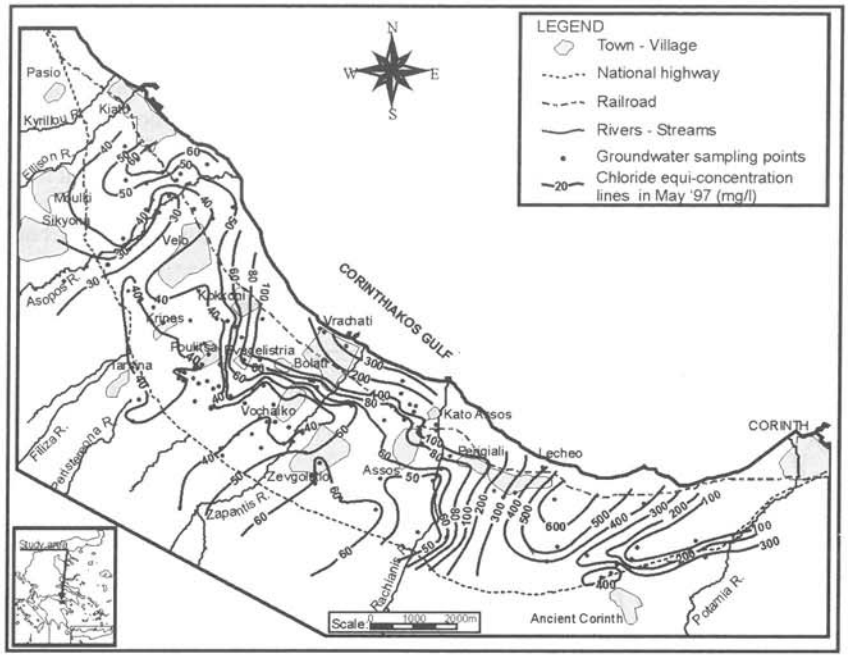


Figure 3: Nitrates distribution map.

Durov classification

Interpretation of the hydrochemistry of the groundwaters has been carried out using the expanded Durov diagram (Burdon et al., 1958; Lloyd et al., 1985). Four major water types have been identified on the basis of their major ion composition and have been distributed geographically (Figure 4). The characteristics of those types are as follows:

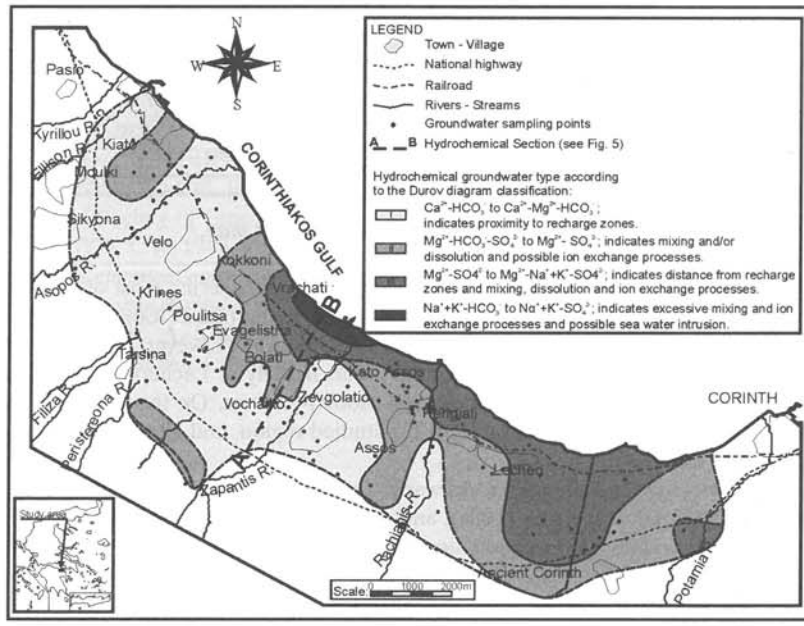


Figure 4: Geographical distribution of identified water types.

Type I: A Ca^{2+} to Ca^{2+}, Mg^{2+}-HCO_3^- water, which indicates proximity to the recharge zones of the aquifer system. Recharge occurs mainly from carbonate-dolomitic rocks, or from sediments rich in such material, such as sandstones, conglomerates etc. This type of water occurs along the southern and especially the southwestern part of the studied area.

Type II: A Mg^{2+}-HCO_3^-, SO_4^{2-} to Mg^{2+}-SO_4^{2-} water, which indicates mixing process of recharge with resident water and/or initiation of dissolution processes. Ion exchange processes are also possible. Geographically, this water type is developed at a NW-SE direction, whilst it also appears at a narrow stripe between the rivers Peristereona and Zapantis and also west of river Asopos. It mainly denotes a transitional phase from recharge areas to end-water members.

Type III: A Mg^{2+}-SO_4^{2-}, to Mg^{2+}, Na^+, K^+-SO_4^{2-} water, which denotes water at distance from the main recharge zones, but still relatively fresh. Mixing with resident groundwater and dissolution are the prevailing mechanisms. Ion exchange may also have influenced this water type. Analysis of the samples that fall in this category suggests that the marginal samples are subject to saline water intrusion. This water type is found further downstream of water type II and especially along the northwestern part of the studied system, at the areas of Lecheo, Perigiali, Kato Assos and Vrachati.

Type IV: A Na^+, K^+-HCO_3^-, to Na^+, K^+-SO_4^{2-} water, which denotes excessive mixing and ion exchange processes, and possibly saline water intrusion from the sea, despite the observed high bicarbonate concentrations (Panagopoulos et al., 1999a). The low chloride concentrations observed in this water type do pose a problem in fully accepting the possibility of saline intrusion. This type of water is only seen at a restricted area along the coastline of Vrachati.

Groundwater evolution

Groundwater evolution study had to be based on the sampling sessions conducted within the framework of this study, as no reliable historical data exists. A hydrochemical section A-B across the studied region is presented in Figure 5, where all four identified water types are met.

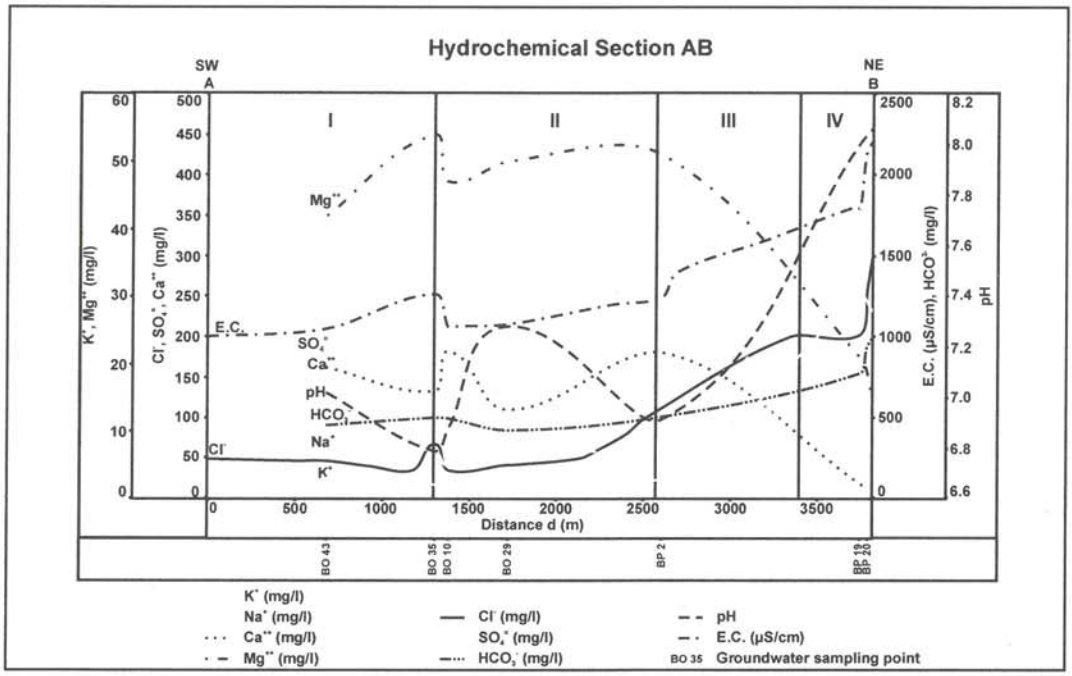


Figure 5: Hydrochemical section across the studied region. Direction A-B as seen in figure 4.

In the southernmost part of the section (A), it can be seen that the prevailing ions are calcium, magnesium and bicarbonates, whilst sodium, potassium and chlorides are low in concentrations. Moving northwards to the coastline, where the end-point waters of the studied system exist, the concentrations are dramatically altered

and sodium, potassium and chloride are the prevailing ions, whereas calcium and magnesium are almost diminished and bicarbonates decreased. As expected, electrical conductivity follows a similar pattern, hence it is low upstream and progressively increases towards the coast. It becomes apparent that along the section's direction a number of hydrochemical alterations take place. Hence, in the southern part fresh recharge water enters the system and progressively mixes with residence water of the aquifer system. The mixing ration increases moving northwards. As the distance from the recharge region increases, lithology becomes finer and water mobility decreases, mixing becomes less important and ion exchange dominates. The latter process is enhanced also by saline intrusion at the Vrachati area, as suggested by the abrupt changes observed in ion concentrations (water type IV).

To the west of the section, groundwaters exhibit a different evolution. Hence, ion exchange does not appear to be of importance, indicating that recharge is richer and water mobility higher. As a result, mixing and dissolution probably are the prevailing processes. Saline water intrusion is not apparent due to both the increased recharge and also the finer lithology along the coastal line, which acts as a barrier to the sea.

The eastern part of the aquifer system resembles the evolution described along the hydrochemical section, with the exception of the strong ion exchange processes exhibited in the end-point of the system (B point of the hydrochemical section). This differentiation is attributed to the restricted saline water intrusion and also to localised hydrogeological conditions that result in very shallow water levels, hence, in water salinisation from percolation of irrigation waters and fertiliser remnants.

Nitrates are generally high all over the studied system and in conjunction to the entire ion composition of the examined samples it was concluded that groundwaters fail in most of the cases the drinking standards set by E.U. (E.U. Council, 1998), and in many areas they are problematic even for irrigation purposes (Voudouris et al., 2000b; Panagopoulos et al. 1999b). Apart from the observed high nitrate background concentration, distinctive areas exhibit peak concentrations in excess of 100mg/l that are attributed to point pollution sources from landfill leachates, irrigation returns and effluent from domestic and livestock waste. As shown in similar studies (Chettri et al., 1995; Panagopoulos et al. 1995), these waters indicate locations nearby recharge areas and/or of favourable conditions for infiltration of polluted surface water to the shallow saturated zone.

Conceptual model

A shallow unconfined aquifer is superimposed on successive confined or semi-confined aquifers. Due to the discussed heterogeneity, these aquifers are either bounded by lateral lithological transitions, or extend into an adjacent unit. In parallel, within the secluded thyrrenian conglomerate blocks overhanging aquifers of low potential may develop. As a result of the described geometry, a number of distinct aquifer units of local significance and small extent have developed and are evidenced by the observation of varying piezometric heads in adjacent wells-boreholes. Despite the documented heterogeneities however, it is suggested that on a regional scale a uniform aquifer may be considered on the basis that observed lithological anomalies are not extensive and most groundwater level measurements are indicative of a single piezometric surface (Panagopoulos et al., 1999a).

Groundwater crossflow from the formations that bound the studied aquifer system along its southern boundary, is one of the most important recharge sources to the studied system (Figure 6). This source is of importance mainly along the fluvial and torrential deposits of the contemporary streams, especially so at the River Asopos deposits. The lithology of the fluvial deposits suggest that conditions are favorable for river water infiltration to the saturated zone, and this is proved by the results of the differential discharge measurements carried out along the river Asopos.

Overland flow from the Thyrrenian deposits are also contributing to the recharge of the system. Direct recharge from infiltrated precipitation also exists but it is not thought to be significant compared to the other sources. Winter-time flood irrigation is commonly practiced along the entire region and this contributes significantly to the recharge of the system, as it is applied for prolonged periods at large areas.

Finally, saline water intrusion recharges the aquifer system at least seasonally, over the dry summer and autumn period. Although this phenomenon is thought to occur at various scales along the coastline, it is more apparent at Lecheo, Kato Assos and Vrachati. It has to be stressed however, that so far the salinisation of the system is restricted due to the geological conditions along the coastline and also due to the fact that over the wet season groundwater levels along the coastal part of the system recover at positive hydraulic heads.

Overall, the system receives higher recharge along its western part (river Asopos), whereas towards the east it reduces considerably, so does groundwater circulation. Direct recharge from surface water percolation (irrigation returns and to a minor extent precipitation) is important across the region but plays a major role to the

system's evolution along the eastern part, where groundwater levels are very shallow).

5. CONCLUSIONS

It has been demonstrated that examination of hydrochemical data can provide useful information with regard to the hydraulic controls on an aquifer system. The main recharge areas were identified and an understanding of the flow mechanisms developed. Groundwater quality was found to be unsuitable for human consumption in most of the areas and even problematic for irrigation purposes in large parts of the region. This condition is a result of the local hydrogeological conditions, coupled with the traditionally applied flood irrigation, the over-fertilization and the complete lack of environmental awareness regarding waste disposal.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to acknowledge the cooperation of the staff of the Ministry of Agriculture, Directorate General of Land Reclamation, Directorate of Geology-Hydrology, who contracted the National Technical University of Athens the research project feasibility study for the application of artificial recharge in the northern Corinth's Prefecture coastal aquifer system, within the framework of which was the current study elaborated. The members of the research team who worked together in order to successfully complete the project are thanked for their patience, and enthusiastic and fruitful participation.

REFERENCES

APPELO C., POSTMA D., 1993. Geochemistry, groundwater and pollution, A. A. Balkema, Rotterdam.

BURDON D., MAZLOUM S., 1958. Some chemical types of groundwater from Syria, *Proc. UNESCO Symposium in Teheran*, pp.73-90.

CHETTRI M., SMITH G., 1995. Nitrate pollution in groundwater in selected districts of Nepal, *Hydrogeology Journal*, v.3-1, pp.71-76.

DASKALAKI P., VOUDOURIS K., DIAMANTOPOULOU P., 1998. Hydrochemical study of North Peloponnesus quaternary and plio-pleistocene aquifers, *Proc. 4th Int. Conference Protection and Restoration of the Environ-*

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 1999-2005, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 1999-2005, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

DESIGN, IMPLEMENTATION AND OPERATION OF A LARGE SCALE GROUNDWATER QUALITY MONITORING NETWORK

G. ZACHARIOUDAKIS[1], M. STREETLY[1] AND M. FERMOR[1]

ABSTRACT

The main elements of the development of a groundwater quality monitoring network include, setting of objectives, selection of design criteria, frequency and determinands for analysis, and a choice of an appropriate data management tool for data manipulation, interpretation and reporting. The objectives of the monitoring network should be initially defined. The hydrogeological setting, the land use, budgetary limitations and monitoring points density comprise the main design criteria. The sampling frequency depends mainly on the hydrogeological conditions and the suites chosen for analysis is a function of local issues, the natural geochemical conditions of the aquifer and also human activities which could introduce a potential contaminative threat. The selection of a robust data management system is essential to handle, migrate and adequately store the data to enable interpretation and reporting.

KEY WORDS: groundwater quality; monitoring network; Water Framework Directive; data management; sampling strategy

1. INTRODUCTION

During recent years the increasing need to manage water resources proactively and the growing awareness of the technical difficulty of remediating groundwater once it has become contaminated has led to an increased requirement for monitoring the background quality of groundwater. Groundwater quality varies naturally in space and time. This natural variability of groundwater quality is a complex function of the physicochemical processes occurring between the aquifer material and the groundwater and the residence time in the aquifers. It is neither technically feasible nor economically justifiable to monitor everywhere all of the time. Consequently, the design of a groundwater quality monitoring system involves a cost-effective approach that considers the objectives and any limitations. The monitoring points locations, the time, the sampling frequency, the results, analysis, storage, interpretation and reporting are also issues that need to be investigated and resolved.

To be truly effective monitoring programmes for groundwater quality therefore require that:

- the objectives of the monitoring are properly defined
- a transparent and achievable strategy is established
- there is sufficient conceptual understanding of the aquifer and pressures on it
- there is adequate planning of collection, handling storage and analysis of samples.
- data are properly archived and easily retrieved so that interpretation and reporting is simple.

This paper outlines the main issues involved in the design, implementation and operation of a groundwater quality monitoring network. This work presents an overview of the ongoing review of national groundwater quality monitoring in England and Wales(ESI 2000a).

2. NEEDS AND DRIVERS FOR THE DESIGN OF A GROUNDWATER QUALITY NETWORK.

The main legislative driver for national monitoring of groundwater quality in the European Union is currently the recently published the Water Framework Directive (2000/60/EC).

The purpose of this Directive is to establish a framework for the protection of inland surface water, transitional waters, coastal waters and groundwater. In regards to groundwater quality issues, this framework is intended to prevent further water quality deterioration, restore bodies of groundwater and ensure a balance between abstraction and recharge.

1. Environmental Simulations International (ESI) Priory Road, Priory House, Shrewsbury SY1 1RU, UK

The Water Framework Directive specifies that all Member States should monitor groundwater bodies both qualitatively and quantitatively. These groundwater bodies would meet certain criteria (such as supported yields, use of water). General guidelines for groundwater quality monitoring, network design, frequency of sampling, interpretation and reporting are presented in Annex V of the Directive.

The Groundwater Directive (80/68/EEC)mainly focuses on pollution prevention of the groundwater by substances that are grouped in two lists (List I and II)and are reported in detail in the Directive Annex. It requires a clear understanding of the hydrogeological systems, the natural defensive and attenuating properties which require the establishment of baseline (natural)groundwater quality conditions through surveillance groundwater quality monitoring.

Another relevant Directive that requires groundwater quality monitoring is the Nitrates Directive (91/676/EEC) where State Members are required to establish surveillance monitoring of all groundwater to provide the basis for designation of Nitrate Vulnerable Zones and effectiveness of action plans.

3. OBJECTIVES OF A GROUNDWATER QUALITY MONITORING ASSESSMENT.

The main objectives of a national groundwater monitoring strategy are principally driven by the legislative and institutional framework, the importance of groundwater as a resource and the strategy for the protection of groundwater. It is essential to identify the objectives of a groundwater monitoring strategy prior to the actual network design. The objectives of a groundwater monitoring strategy should(Chilton, Milne 1994)

- comply with statutory and non statutory National and European commitments
- provide objective comparable and reliable information that could be used, stored, combined and retrieved in a simple way.
- define baseline groundwater conditions, in both currently used aquifers and those as yet unused, so that suitability for future use and potential impact of permitted discharges is assessed.
- determine trends in groundwater quality and quantity, against the identified baseline resulting from natural causes, from the impact of diffuse pollution sources (particularly for nitrates).
- provide a three-dimensional picture of groundwater quality within aquifers, where suitable infrastructure exists.
- provide early warning of groundwater pollution, particularly in outcropping aquifer recharge areas and other sensitive areas, such as wetlands.
- identify links between groundwater systems, surface water systems and terrestrial systems (land use) to support a truly integrated approach to river basin management.

4. DESIGN CRITERIA

At a large scale, each groundwater body may be characterised and differentiated by its unique socio-economic regime. Local needs and pressures could influence the theoretical criteria that would apply to the design and choice of the appropriate monitoring points for groundwater quality monitoring.

The criteria selected should reflect and incorporate the guidelines set by legislative bodies, the land use and local issues. They also need to be structured on a robust scientific base reflecting the hydrogeological setting. Costs should be analysed and the criteria chosen should ensure a cost effective approach. Application of these criteria should result in a network that will also satisfy the specified objectives of the monitoring.

The design criteria are related and should satisfy the specific objectives of the groundwater monitoring.

An initial step is the aquifer characterisation in respect to supported yields, use and significance. In this stage the aquifers that would be required to be monitored should be selected.

A hydrogeological assessment should identify the main groundwater flow mechanisms, the residence time of the water in the aquifer, the interaction of groundwater with surface water bodies, and the recharge and discharge zones of each aquifer. A conceptual model should quantify the demand and the available resource. The permeability and hydraulic properties, the drift or superficial deposits cover and the soil leaching potential should be assessed to identify the natural protection of the system to potential contaminative risks. In other words, the overall aquifer complexity and vulnerability should be determined.

The different types of land use should be defined so that susceptibility to various types of potential contamination is assessed. Groundwater quality is affected by the land use overlying the groundwater system as well as up hydraulic gradient in the aquifer. The land uses could be grouped in simple categories to avoid complications in the methodology development.

One suggested approach to the selection of the appropriate points reflecting the different steps highlighted

above, could be the structure of a prioritisation matrix that will assess the needs, pressures and priorities of use of a specific point within a designed network.

Table 1 presents an example of such a matrix considering the various components of the criteria design:

Table 1 Monitoring points selection matrix

Priority Level[i]	Principal Purpose/Criteria[ii]	Minimum Quantity[iii]	Aquifer A (example)
Optimum number of monitoring points required[iv] ⇒		12	
1a	Recharge (Unconfined)	1	BH1
	Discharge	1	BH9,6
1b	Confined Aquifer	1	BH3
2	Land Use[v] -Arable	1	BH1,8
	Land Use - Urban	1	
	Land Use -Grassland	1	BH4
	Land Use - Semi-natural vegetation	1	
	Land Use Forestry	1	
3	Land Use - Arable (deep/shallow)	1	
4	Land Use - Urban sub-division (industrial/residential)	1	
5	3-D monitoring	1	
3 - 5	Local/Other criteria	x	BH5,7

i ***Priority ranking for developing the monitoring network. Highest priority areas should be addressed first. Where local issues and conditions dictate, some re-prioritisation may be necessary for levels 3-5***

ii ***The monitoring point selected may satisfy more than one criteria, e.g. be suitable as the recharge and arable land use type sampling point. Hence, the borehole identifier inserted into the matrix may occur more than once.***

iii ***The minimum number of monitoring points required for each category in an optimised groundwater body network. Additional monitoring points are likely to be required for some categories on the basis of special density criteria and conceptual model.***

iv ***The optimum (target) number of monitoring points in each groundwater body should be determined depending on the hydrogeological regime of the aquifer and its importance as resource. The distribution of monitoring points should be based on the prioritisation matrix and the conceptual model. Statistical methods could also be used.***

v ***Land use within Groundwater bodies will be divided into one of five types and each will require a minimum of one monitoring point. Guidance will be developed to establish a protocol that considers how land use should be identified and appropriate areal thresholds***

The spatial density of the monitoring points should be derived after careful judgement of the parameters above. Statistical methods may also be considered for the calculation of spatial density requirements(Chilton, Milne 1994). These approaches focus mainly on network optimisation to ensure that the hydrogeological complexity and groundwater quality is properly represented. Statistical methods are difficult to apply due to uncertainties and the complex nature (heterogeneity) of aquifers. As an example Chilton and Milne (1994) suggested that for England and Wales the monitoring network should consist of:

- one sampling point per 25 km^2 for the outcrop areas of aquifers that have a high yield and are significant as a groundwater resource
- one sampling point per 35 km^2 for the confined areas of such aquifers
- one sampling points per 50 km^2 for outcrop and confined areas of other aquifers with smaller yields and which are less significant as a resource.

5. NETWORK IMPLEMENTATION

Implementation of the design criteria should have a primarily cost effective basis. A groundwater quality monitoring network should consist primarily of existing abstraction and observation boreholes.

Candidate monitoring points could include:

- a pumped borehole (public water supply, or municipal irrigation abstraction or industrial)
- a small abstraction (private borehole)
- a borehole that is not pumped but will be purged during sampling
- a spring

The differentiation of the above categories is the pumping yield and the time required for adequate sampling in each case. The ideal network should comprise mainly medium to small yield abstractions, purged boreholes or springs. In this way, the groundwater sampled represents relatively local to the sampling point quality conditions, which allow a clearer understanding of the quality issues and identification of potential deterioration origins in the monitored aquifer system. A hypothetical example should provide a better perception:

Let's suppose that the monitored aquifer system is an unconfined aquifer where large and smaller abstractions exploit the groundwater. The main land use in the area is arable. Selection of only the large abstractions in a monitoring network will show the effects of the farming activities in the groundwater (a rising trend to the nitrates) but no more information could be obtained. However, if smaller abstractions are incorporated in the network, more information about the source and the development of the contaminative threat could be extracted from a routine groundwater monitoring exercise.

However, such an approach is not always cost beneficial. Therefore, a maximum proportion of heavy abstractions over the total number of points within an aquifer should not be exceeded during the selection of the points that already satisfy the design criteria. This proportion is function of the size and the flow mechanisms within the aquifer, the available points that satisfy the design criteria and the available budget for the selection and implementation of new monitoring points.

Adequate information about total depth, screen depth, aquifer monitored and construction specifications should be available for all the network monitoring points. Springs should also be targeted for implementation in the network subsequent to a hydrogeological conceptual model that will assess the spring flow mechanisms and groundwater origin. Furthermore, additional new boreholes should be drilled to satisfy density criteria and other network design factors. Abstraction points that exploit multi-aquifer systems should also be identified so that trends in the groundwater quality could be monitored in the vertical dimension.

Discharge wells and/or springs that are used as drinking supplies and are regularly sampled to comply with drinking water guidelines should also be identified and selected. In this case, specific agreements should be set with the companies/authorities responsible for the above category of wells so that the targeted sampling suites and frequencies for the monitoring purposes are agreed.

If more than one points are candidate for a specific site after this pass, then accessibility issues should be investigated. All the selected points should have a health and safety assessment done, which will guarantee the good condition and operation of the point, the safety and the good working conditions of the visiting sampling team.

6. SAMPLING FREQUENCY AND ANALYTICAL SUITES

The choice of analytical suite should represent a balance between obtaining sufficient information to characterise the baseline (natural) quality and identify presence of contaminants (as part of the surveillance monitoring for the protection of the resource) and cost of the analysis. It is suggested that determinand suites should be grouped into two categories: one standard suite and one selective suite.

The standard suite is the minimum for all samples collected. It should provide a basic analysis of all the major groundwater quality components. The selective suite is tailored to address specific monitoring requirements and the exact determinands should depend on site specific and local factors. Detection limits for each determinand should be appropriate for the major use of groundwater (drinking water)and in accordance with national and european requirements.

The selective suite will need to be determined based on the activity and take account of human activities that may occur and industrial processes. (ESI, 2000b). Table 2 presents a representative layout of the standard and selective suites.

Table 2. An example of Determinand suites for Groundwater Quality Assessment

Suite	Determinands	Notes
Standard	Field Parameters Major Ions	
	Additional	Specified target determinands identified during initial characterisation which show concentrations above background (e. g. specific contaminants).
Selective	Heavy Metals	
	Organic Compounds	E.g. Aromatic hydrocarbons, halogenated hydrocarbons, phenols, chlorophenols, MTBE
	Pesticides	Land use, environment and property (e.g. mobility) dependent.
	Additional	Other target determinands and microbiological contaminants.

The sampling frequency of a monitoring network is considered as a function of the hydrogeological and hydrological conditions of each site, the objectives of the monitoring strategy, and the total budget allocated for the sampling and analysis operations.

The potential of groundwater quality alteration over a specific time period in a system, is related to the specific flow conditions, to the rate of flow and nature of the aquifer. Thus, these parameters affect the flow regime and the residence time of groundwater. Therefore, sampling should be more frequent in thin, highly permeable, fractured or karstic aquifers in contradiction to thick granular, confined systems.

Sampling frequency should be a function of the susceptibility to changes of the groundwater quality at a specific location. Groundwater residence time in the aquifer controls this susceptibility to changes. For example, in an aquifer where the flow domain is fast, the residence time is small and the groundwater flows with higher rates than within a slow flow domain. In such systems the potential of change in the groundwater quality is high. Therefore, sampling should be more frequent in thin, highly permeable, fractured or karstic aquifers compared to thick granular, confined systems.

The factors analysed above, are taken into account on Table 3 which presents a sampling frequency schedule. This approach has been also adopted by Chilton and Milne (1994).

Table 3. Proposed Sampling Frequencies

Aquifer	Determinand Suite Standard		Selective
Slow[1]	Outcrop	6 monthly	every 2 years
Slow	Confined	annually	every 5 years
Fast[2]	Outcrop	3 monthly	annually
Fast	Confined	6 monthly	every 2 years

[1] ***'Slow' aquifers means those with low permeability and/or high effective porosity.***
[2] ***'Fast' aquifers means those with high permeability and/or low effective porosity.***

7. OPERATION

Some of the issues that need to be addressed, considered and resolved during the operation stage include:

- sampling strategy
- sample analysis and method development
- data migration, results analysis and reporting

It is essential that a consistent and robust sampling methodology should be established prior to any sampling commencement. The groundwater sampling should be undertaken to fulfil field work health and safety requirements. The methodology should elaborate issues such as:

- recommended type and material of equipment for use
- purging volume and time to ensure aquifer rather than borehole water sampling
- secure sample storage and transport

Table 4 Main steps and levels within a groundwater monitoring programme[1]

Levels		Needs	Related Issues
Level 1	**Legislative and environmental framework**		
		Definition of objectives	EU guidelines and Directives National legislation Other initiatives
Level 2	**Monitoring Strategy**	Current situation assessment Prioritisation of needs	National guidance, establishment of protocols Human Resources, training Field and laboratory services Existing practice on data management, processing and reporting
Level 3	**Operational programme**	Development of the regional strategy - Design Criteria	Identification of groundwater bodies Collation and evaluation of existing data information on groundwater systems Local issues, pressures, water use, land use, water demands Development of conceptual model. Hydrogeological conditions Relevant point selection, prioritisation of selection (land use, hydrogeological considerations, abstraction rates), budgetary limitations Analytical suites, sampling frequency
		Network operation, sampling and analysis Reporting	Training, health and safety issues Equipment maintenance Data management, liaisons with labs, lab checking procedures, (blanks etc) Analyses management, data processing, results, Feedback to the conceptual model, verification, reiteration of the process to achieve best representation of the system

[1]*In each level more than one issues could be identified/resolved simultaneously*

- equipment cleaning to avoid cross contamination when sampling more than one points with same equipment
- despatch of blanks and spiked samples to the labs for internal labs operations quality control.
- equipment storage and maintenance after the end of each sampling session.

It is apparent that operation of a large scale monitoring network will result in numerous samples with mul-

tiple results for each monitoring point during each sampling session. This data population requires a robust data management system which will provide sample tracing and validation but also results storage and retrieval for interpretation and reporting. Therefore, the data handling and management issues should not be overlooked or ignored.

The selected data management system should be used during the different phases of the process from the sampling stage to reporting. A unique identifier for each site should be established with a preferential encoding that should denote, location and aquifer monitored from which the groundwater is sampled. The sample codes should be created and input in the system prior to the sampling process. The sampling team should be supplied with the codes and assign the appropriate one to each sample after collection. The laboratories should use if not the same, a compatible similar system which could interact with the data management tool. In this way, data check and import should be facilitated. If for example the samples are bar-coded, then the identification process should be accelerated using a scanner. On the other hand, such a tool would be convenient for the labs, because they would be informed for the expected number of samples and the detailed suite for analysis. Thus, the results for a site would not be released for processing and interpretation, without all the sample records for this site or with the wrong determinands analysed. Compatibility of such a system between labs and interpretation team would also allow automatic notification of data availability and data upload from the laboratories to the agreed data storage location. This system should allow the user to query, report and generally manipulate the data to conclude to the demanded deliverables.

8. CONCLUSIONS

The development of a large scale groundwater quality monitoring strategy is essential to monitor the baseline quality of the aquifers and meet the wide ranging statutory and non-statutory requirements. This need is reinforced by the latest European legislation, the Water Framework Directive. Table 4 presents a summarised chart of the main steps of a groundwater quality monitoring programme.

9. ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Dr Rob Ward of the National Groundwater and Contaminated Land Centre of the Environment Agency, for his useful comments and suggestions, his detailed review of this paper as well as for his advice on the current situation on European Union issues.

REFERENCES

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of Water Policy.

CHILTON, P.J., & MILNE, C.J. 1994. *Groundwater Quality Assessment: A National Strategy for the NRA*. Technical Report WD/94/40C, Hydrogeology Series, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK.

ESI 2000a. *Review of Regional Groundwater Monitoring: Project Methodology and Implementation Plan*. Technical Report 6144R1D2, Environmental Simulations International, Priory House, Priory Road, Shrewsbury, SY1 1RU.

ESI 2000b. *Review of Regional Groundwater Monitoring: Review of Current Monitoring in the Regions*. Technical Report 6144R2D6, Environmental Simulations International, Priory House, Priory Road, Shrewsbury, SY1 1RU.

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ
REMOTE SENSING

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2007-2016, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2007-2016, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ*

Δ. ΒΑΪΟΠΟΥΛΟΣ[1], Γ. ΑΙΜ. ΣΚΙΑΝΗΣ[1], Β. ΤΣΑΡΜΠΟΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται το πώς επιδρούν στην ψηφιακή εικόνα τα παρακάτω φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων: Ιδανικό, Bartlett και Butterworth. Διαπιστώνεται, μετά από μαθηματική ανάλυση, ότι το φίλτρο Bartlett εξασθενίζει το σήμα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην ενδείκνυται για απομάκρυνση υψίσυχνου θορύβου. Το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth έχουν καλύτερα αποτελέσματα, ωστόσο το ιδανικό φίλτρο προκαλεί κυματοειδείς παραμορφώσεις στο σήμα. Η επίδραση των φίλτρων εξαρτάται και από τον τύπο του σήματος. Οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης επαληθεύονται με έλεγχο σε συνθετική εικόνα και σε εικόνα ραντάρ. Τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών.

ABSTRACT

Low-pass filters are generally used for the removal of high frequency noise from a digital image. However, larger targets in a digital image also contain higher frequencies and are severely affected by such filters. The scope of this paper is to examine how the Ideal, Bartlett and Butterworth low-pass filters affect a digital image.

First, we examine how the three filters affect a one-dimensional signal, either in the form of a rectangular pulse or a gaussian pulse and after numerical integration and subsequent graphing we reach the following results: All three filters diminish the brightness values of the image - the Bartlett filter by so much, as to make it unsuitable for low-pass image filtering. A smoother pulse will generally deteriorate more than a sharply defined one. The Butterworth filter is somewhat better, as it retains the form of the original signal, although the Ideal filter provides more amplified brightness values, in the case of rectangular pulses, something that can be attributed to the oscillatory nature of the derived signal (Gibbs phenomenon). For higher cut off frequencies both the Ideal and Butterworth filters seem to retain the form of the original pulse but for a lower cut off frequency the Butterworth filter is preferable.

All theoretical predictions that were derived from the one-dimensional models were tested on a synthetic, test image (a bright disk in a dark background). A low cut off frequency gives a smooth profile, using the Ideal filter and a higher cut off frequency retains the form of the original pulse better, with the added appearance of an oscillatory pattern (Gibbs phenomenon).

Although the two-dimensional results are in accordance with the predictions made from the one-dimensional tests, we decided to try the filters' response with a real, side-scan, radar image from a mountainous area, where there are dark tones (slopes in the radar's shadow), bright tones (slopes that directly reflect the radar beam) and fairly flat, gray-tone glaciers. From these tests we concluded the following :

The Bartlett filter once again proves to diminish the strength of the original signal by far too much and eliminates brightness differences, therefore it is probably unsuitable. Both the Butterworth filter and the Ideal filter give better results, although the glacier (a fairly smooth, low-brightness target) appears too dark (this seems to be a general effect of low pass filters on smooth, medium- to low-brightness targets - their brightness values diminish much more than in the case of strongly defined features). The Ideal filter still exhibits the Gibbs phenomenon, without deforming its basic characteristics too much, giving higher brightness values, while the Butterworth filter retains the form of the original signal better, giving lower brightness values.

The results and conclusions of this paper may be useful in processing digital satellite images and air photographs, in order to detect geological, geomorphological and other targets of interest.

* A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF LOW-PASS FREQUENCY FILTERING ON A DIGITAL IMAGE

1 Αναπληρωτής Καθηγητής. Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Πανεπιστημιόπολη, Αθήνα 157 84.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φίλτρο χαμηλής διέλευσης, ορθογώνιος παλμός, γκαουσιανό σήμα, ιδανικό φίλτρο, φίλτρο Butterworth, φίλτρο Bartlett, φαινόμενο Gibbs, συχνότητα αποκοπής.

KEY WORDS: Low pass filter, rectangular pulse, gaussian signal, ideal filter, Butterworth filter, Bartlett filter, Gibbs phenomenon, cut off frequency.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση συχνοτήτων μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με αντικείμενο την Τηλεανίχνευση (Al-Hinai et. al. 1991, Watson 1993). Ειδικά, για την απομάκρυνση του υψίσυχνου θορύβου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, που είναι ταχύτερα στην επεξεργασία από μάσκες στο χώρο της εικόνας με μέγεθος πάνω από 5x5 (Richards & Jia 1999). Ωστόσο, υψηλές συχνότητες περιέχουν και οι μεγάλων διαστάσεων στόχοι ενδιαφέροντος, τα χαρακτηριστικά των οποίων μπορούν να αλλοιωθούν σημαντικά, όταν εφαρμοστούν τέτοιου είδους φίλτρα στην εικόνα.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται το τί παραμορφώσεις μπορούν να προκαλέσουν στην ψηφιακή εικόνα τα παρακάτω φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων: Ιδανικό, Bartlett και Butterworth. Στην αρχή, επιχειρείται μια μαθηματική ανάλυση της επίδρασης των φίλτρων αυτών σε ορθογώνιο παλμό και σε γκαουσιανό σήμα. Ο ορθογώνιος παλμός εξυπηρετεί στην αναπαράσταση μιας δομής με απότομα μεταβαλλόμενη φωτεινότητα στο περίγραμμά της. Ο γκαουσιανός παλμός, αναπαριστάνει μια δομή με μη καθορισμένο περίγραμμα και ομαλά μεταβαλλόμενη φωτεινότητα. Στη συνέχεια, οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης ελέγχονται σε συνθετική εικόνα και σε εικόνα ραντάρ, στην οποία απεικονίζεται μια περιοχή με παγετώνες.

Τα συμπεράσματα αυτής της συγκριτικής μελέτης μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών, για τον εντοπισμό στόχων γεωλογικού, γεωμορφολογικού, τοπογραφικού, ή άλλου ενδιαφέροντος.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ενότητα αυτή μελετάται η επίδραση των φίλτρων Bartlett, Butterworth και Ιδανικού πάνω σε ορθογώνιο και σε γκαουσιανό παλμό, στη μια διάσταση. Τα πορίσματα της μαθηματικής ανάλυσης, μπορούν να αποτελέσουν τον οδηγό για πειραματισμό με ψηφιακές εικόνες.

Η εξίσωση για τον ορθογώνιο παλμό rect(x) είναι:

$$\mathrm{rect}(x) \quad \begin{matrix} 1, & |x| \quad b \\ 0, & |x| \quad b \end{matrix} \tag{1}$$

x είναι ανεξάρτητη μεταβλητή που εκφράζει το διάστημα, b είναι το ήμισυ εύρος του παλμού και είναι πάντα θετικό.

Η εξίσωση για το γκαουσιανό παλμό g(x) είναι:

$$g(x) = \exp(-bx^2) \tag{2}$$

Εδώ, το b είναι μια θετική ποσότητα που διαμορφώνει το εύρος του σήματος.

Το ιδανικό φίλτρο $F_{ideal}(u)$ είναι (Gonzalez & Wintz 1987):

$$F_{ideal}(u) \quad \begin{matrix} 1, & |u| \quad D_0 \\ 0, & |u| \quad D_0 \end{matrix} \tag{3}$$

u είναι η χωρική συχνότητα (κυματάριθμος), D_0 είναι η συχνότητα αποκοπής.

Η μαθηματική έκφραση για το φίλτρο Bartlett $F_{Bartlett}(u)$, είναι, με βάση τους Schrader & Pouncey 1997, η παρακάτω:

$$F_{Bartlett}(u) \quad \begin{matrix} 1-(1/D_0)|u|, & |u| \quad D_0 \\ 0, & |u| \quad D_0 \end{matrix} \tag{4}$$

Το πρώτης τάξης φίλτρο Butterworth $F_{Butter}(u)$ είναι (Gonzalez & Wintz 1987):

$$F_{Butter}(u) = [1+(u/D_0)^2]^{-½} \tag{5}$$

Η επίδραση του ιδανικού φίλτρου, καθώς και των φίλτρων Butterworth και Bartlett πάνω στον ορθογώνιο

παλμό και στο γκαουσιανό σήμα, μπορεί να εκφραστεί ως συνέλιξη μεταξύ φίλτρου και σήματος. Με βάση τις σχέσεις (1) ως (5) και αξιοποιώντας τις ιδιότητες του μετασχηματισμού Fourier και το θεώρημα της συνέλιξης (Gonzalez & Wintz 1987, Jensen 1996), συνάγονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$[f_{ideal} * rect](x) = \frac{2}{\pi}\int_0^{Do} \frac{\sin(bu)}{u} \cdot \cos(ux)du \qquad (6)$$

για την επίδραση του ιδανικού φίλτρου στον ορθογώνιο παλμό. $f_{ideal}(x)$ είναι το ιδανικό φίλτρο στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{ideal} * g](x) \quad \frac{1}{2\sqrt{b}} \int_0^{Do} \exp(-u^2/4b).\cos(ux)du \qquad (7)$$

για την επίδραση του ιδανικού φίλτρου στο γκαουσιανό σήμα.

$$[f_{Bartlett} * rect](x) = \frac{2}{\pi^{3/2}} \left\{ \int_0^{Do} \frac{\sin(bu)}{u} \cdot \cos(ux)du - (1/Do)\int_0^{Do} \sin(bu)\cos(ux)du \right\} \qquad (8)$$

για την επίδραση του φίλτρου Bartlett στον ορθογώνιο παλμό. $f_{Bartlett}(x)$ είναι το φίλτρο Bartlett στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{Bartlett} * g](x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi b}} \left\{ \int_0^{Do} \exp(-u^2/4b)\cos(ux)du - (1/Do)\int_0^{Do} u.\exp(-u^2/4b)\cos(ux)du \right\} \qquad (9)$$

για την επίδραση του φίλτρου Bartlett στο γκαουσιανό σήμα.

$$[f_{Butter} * rect](x) = (2/\pi)\int_0^{\infty} \frac{\sin(bu)}{u\sqrt{1+(u/Do)^2}} \cdot \cos(ux)du \qquad (10)$$

για την επίδραση του φίλτρου Butterworth στον ορθογώνιο παλμό. $f_{Butter}(x)$ είναι το φίλτρο Butterworth στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{Butter} * g](x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi b}} \int_0^{\infty} \frac{\exp(-u^2/4b)}{\sqrt{1+(u/Do)^2}} \cdot \cos(ux)du \qquad (11)$$

για την επίδραση του φίλτρου Butterworth στο γκαουσιανό σήμα.

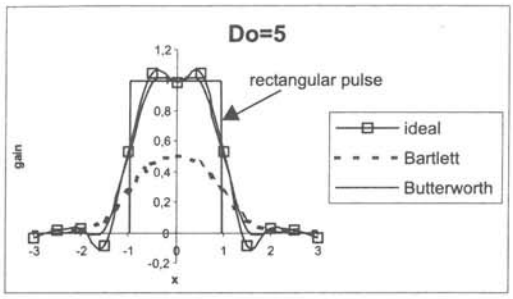
Τα ολοκληρώματα των σχέσεων (6) ως (11) υπολογίστηκαν αριθμητικά, για διάφορες τιμές των x και D_0, θέτοντας:

$$b = 1 \qquad (12)$$

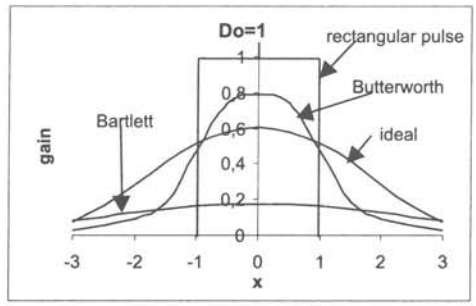
Οι αριθμητικές ολοκληρώσεις, πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Scientific Workplace και, στη συνέχεια, έγιναν γραφικές παραστάσεις που εξυπηρετούν στο να σχηματίσει κανείς μια διαυγέστερη εικόνα για την επίδραση των διαφόρων φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε σήμα.

Στο (σχ. 1), εμφανίζεται η επίδραση των τριών φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλμό, για σχετικά υψηλή συχνότητα αποκοπής. Είναι φανερό ότι το φίλτρο Bartlett εξασθενίζει σε μεγάλο βαθμό το αρχικό σήμα, ενώ τα φίλτρα ιδανικό και Butterworth το εξομαλύνουν χωρίς να μειώσουν το πλάτος του. Οι κυματισμοί, που παρατηρούνται στην επίδραση του ιδεατού φίλτρου, είναι γνωστοί από τη βιβλιογραφία ως «φαινόμενο Gibbs» (Papoulis 1962) και οφείλονται στην ασυνέχεια στη συμπεριφορά του ορθογώνιου παλμού. Λόγω του φαινομένου Gibbs, το ιδεατό φίλτρο λειτουργεί ενισχυτικά πάνω στον ορθογώνιο παλμό, όπως φαίνεται στο (σχ. 1). Για τη συγκεκριμένη συχνότητα αποκοπής, υπάρχει ένα τοπικό ελάχιστο στη θέση x=0, όμως σε άλλες περιπτώσεις το φιλτραρισμένο σήμα έχει τη μέγιστη τιμή στη συγκεκριμένη θέση.

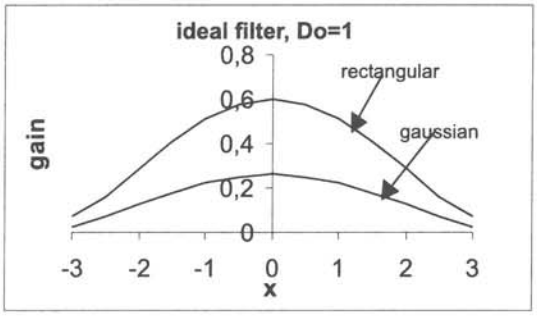
Στο (σχ. 2), παρουσιάζεται η επίδραση των τριών φίλτρων χαμηλής διέλευσης πάνω στον ορθογώνιο παλμό για χαμηλή συχνότητα αποκοπής. Και τα τρία φίλτρα μειώνουν σημαντικά το πλάτος του παλμού, όμως το φίλτρο Bartlett ουσιαστικά μηδενίζει τον παλμό. Το φίλτρο Butterworth διατηρεί σε κάποιο βαθμό το περίγραμμα του παλμού.



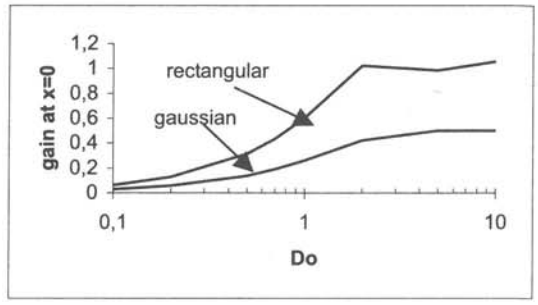
Σχ. 1. Επίδραση των φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλμό για υψηλή συχνότητα αποκοπής.
Fig. 1. The effect of low pass filtering on a rectangular pulse, with a high cut off frequency.



Σχ. 2. Επίδραση των φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλμό για χαμηλή συχνότητα αποκοπής.
Fig. 2. The effect of low pass filtering on a rectangular pulse, with a low cut off frequency.



Σχ.3. Επίδραση ιδεατού φίλτρου σε ορθογώνιο παλμό και σε γκαουσιανό σήμα με κοινό πλάτος, ίσο με τη μονάδα.
Fig.3. The effect of the ideal filter on a rectangular and on a gaussian pulse, with a common amplitude equal to one.



Σχ.4. Μεταβολή του πλάτους του ορθογώνιου και του γκαουσιανού παλμού για x=0, λόγω της επίδρασης ιδεατού φίλτρου, ως προς τη συχνότητα αποκοπής.
Fig.4. Amplitude variation of filtered rectangular and gaussian signals, at x=0, against cut off frequency. The two signals are filtered by the same ideal filter.

Το γκαουσιανό σήμα αποδυναμώνεται περισσότερο από τον ορθογώνιο παλμό, όταν εφαρμοστεί το ίδιο φίλτρο χαμηλής διέλευσης, όπως φαίνεται στο (σχ. 3). Στο σχήμα αυτό αναπαριστάνεται η επίδραση ιδεατού φίλτρου, όμως η ίδια παρατήρηση ισχύει και για την επίδραση φίλτρου Butterworth ή φίλτρου Bartlett. Το ιδεατό φίλτρο δεν προκαλεί κυματισμό (φαινόμενο Gibbs) στο γκαουσιανό σήμα, ακόμα και αν η συχνότητα αποκοπής είναι σχετικά μεγάλη.

Παρουσιάζει ενδιαφέρον η ποσοτική εκτίμηση της εξασθένισης του πλάτους του σήματος για διάφορες συχνότητες αποκοπής D_0 και για το σκοπό αυτό έγινε μια γραφική παράσταση της ενίσχυσης του σήματος για x=0, για διάφορες συχνότητες αποκοπής. Για x=0, έχουμε σχεδόν μέγιστο πλάτος στο φιλτραρισμένο σήμα (στον ορθογώνιο παλμό η μέγιστη τιμή μπορεί να είναι κάπως μετατοπισμένη, λόγω του φαινομένου Gibbs). Η γραφική παράσταση παρουσιάζεται στο (σχ. 4). Παρατηρούμε ότι στις μικρές συχνότητες αποκοπής, το φιλτραρισμένο σήμα εξασθενεί σημαντικά, και στους δυο παλμούς. Από την άλλη πλευρά, στις μεγάλες συχνότητες αποκοπής, ο μέν φιλτραρισμένος ορθογώνιος παλμός αποκτά, ουσιαστικά, το πλάτος του αρχικού σήματος (εξασθένηση μηδέν), ή και ενισχύεται κάπως, ο δε φιλτραρισμένος γκαουσιανός παλμός παραμένει σημαντικά εξασθενημένος, με πλάτος που δεν υπερβαίνει το 50% του πλάτους του αρχικού παλμού. Ανάλογες παρατηρήσεις, ως προς το πλάτος των φιλτραρισμένων παλμών, μπορούν να γίνουν και για τα φίλτρα Bartlett και Butterworth.

Η διαφοροποιημένη αυτή επίδραση των φιλτρων διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων σε ορθογώνιο παλμό (δομή με απότομα μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ως προς τον περίγυρο) και σε γκαουσιανό παλμό (δομή με ομαλά μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ως προς τον περίγυρο) μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες ως προς την αντίθεση φωτεινότητας φιλτραρισμένης ψηφιακής εικόνας. Μια σχετικά φωτεινή δομή στην αρχική εικόνα, μπορεί να παρουσιαστεί σκοτεινότερη σε σχέση με μια αρχικά λιγότερο φωτεινή δομή που η φωτεινότητά της

μεταβάλλεται απότομα ως προς τον περίγυρό της.

Διατυπώνοντας συνοπτικά τα συμπεράσματα από την παραπάνω μαθηματική ανάλυση, επισημαίνουμε ότι και τα τρία φίλτρα, και ιδίως το φίλτρο Bartlett, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη φωτεινότητα του στόχου ενδιαφέροντος, κυρίως αν αυτή μεταβάλλεται ομαλά με τη θέση (γκαουσιανό σήμα). Στις σχετικά μεγάλες συχνότητες αποκοπής, το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth διατηρούν το πλάτος και το περίγραμμα του σήματος. Στις σχετικά χαμηλότερες συχνότητες, φαίνεται να παρουσιάζει το φίλτρο Butterworth ένα συγκριτικό πλεονέκτημα, όσον αφορά στη διατήρηση του περιγράμματος του αρχικού σήματος.

Οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης, ελέγχθηκαν με συνθετικές εικόνες και με εικόνες ραντάρ.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Οι θεωρητικές προβλέψεις με τα μονοδιάστατα μοντέλα δοκιμάστηκαν, στις δυο διαστάσεις, στην παρακάτω εικόνα, που σχηματίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Photoshop, στη συνέχεια μετατράπηκε σε αρχείο .img και ως τέτοια υπέστη επεξεργασία από το λογισμικό ERDAS.

Στο (σχ. 5) παρουσιάζεται η συνθετική εικόνα με το φωτεινό δίσκο και στο (σχ. 6) μια τομή που διασχίζει το δίσκο.

Σχ. 5. Συνθετική εικόνα.

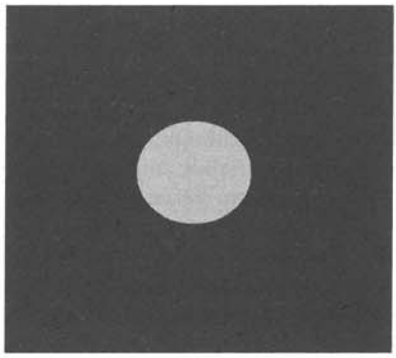
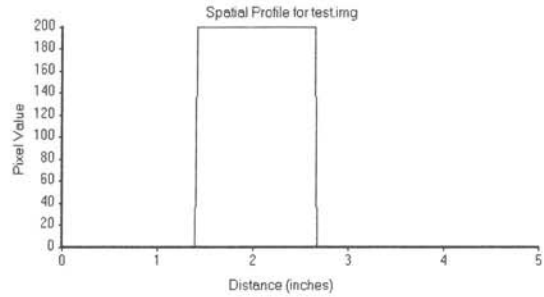


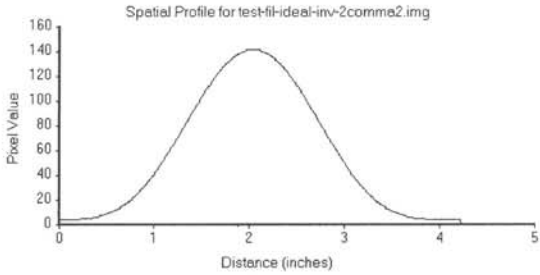
Fig. 5. A synthetic image.



Σχ.6.Τιμές φωτεινότητας εικονοστοιχείου κατά μήκος τομής που διασχίζει το φωτεινό δίσκο της συνθετικής εικόνας.

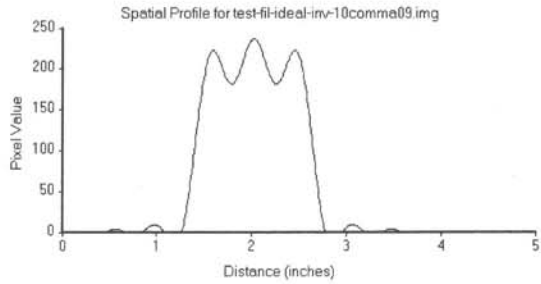
Fig. 6. Pixel Brightness Values along a profile crossing the bright disk of the synthetic image.

Στη συνθετική εικόνα εφαρμόστηκε ιδανικό φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, με συχνότητα αποκοπής $D_0 = 1/b$ (b η ακτίνα του κυκλικού δίσκου). Η εικόνα που προέκυψε ήταν πιο θαμπή και με φθίνουσα φωτεινότητα από το κέντρο του δίσκου προς την περιφέρεια. Στο (σχ. 7), παρουσιάζεται τομή της φιλτραρισμένης εικόνας, όπου όμως τώρα η φωτεινότητα έχει μια ομαλή συμπεριφορά και μειωμένο πλάτος, σύμφωνα με τις θεωρητικές προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης.



Σχ. 7. Τομή που προκύπτει από επεξεργασία της συνθετικής εικόνας με ιδανικό φίλτρο και χαμηλή συχνότητα αποκοπής.

Fig. 7. A profile of the processed synthetic image by the ideal filter with a low cut off frequency.



Σχ. 8. Τομή που προκύπτει από επεξεργασία της συνθετικής εικόνας με ιδανικό φίλτρο και υψηλή συχνότητα αποκοπής.

Fig. 8. A profile of the processed synthetic image by the ideal filter with a high cut off frequency.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στη συνθετική εικόνα ιδανικό φίλτρο με σχετικά υψηλή συχνότητα αποκοπής (πενταπλάσια από την προηγούμενη) και προέκυψε η τομή του (σχ. 8). Μπορεί κανείς να παρατηρήσει, ότι το πλάτος του σήματος είναι κατά βάση ίδιο με αυτό της αρχικής εικόνας και κατά τι μεγαλύτερο σε ορισμένες θέσεις. Οι επί μέρους διακυμάνσεις της φωτεινότητας, οφείλονται στο φαινόμενο Gibbs.

Γενικά, ο πειραματισμός με τη συνθετική εικόνα έδωσε αποτελέσματα που βρίσκονται σε συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις, όχι μόνο ως προς την επίδραση του ιδανικού φίλτρου, αλλά και ως προς την επίδραση των φίλτρων Butterworth και Bartlett. Είναι όμως σημαντικό να δοκιμάσει κανείς την ισχύ της μαθηματικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικά δεδομένα.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΙΚΟΝΑ ΡΑΝΤΑΡ

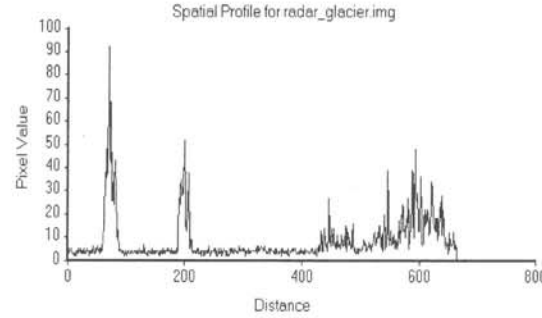
Στις εικόνες που λαμβάνονται από το φυσικό κόσμο, οι απεικονιζόμενοι στόχοι δε διαθέτουν την απλότητα και την κανονικότητα ενός μαθηματικού μοντέλου. Με τη μαθηματική όμως ανάλυση, μπορούν να διατυπωθούν προβλέψεις που να ανταποκρίνονται, σε ορισμένο βαθμό, στην πραγματικότητα. Εξάλλου, ο απαγωγικός συλλογισμός μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα με ευρύτερο πεδίο αναφοράς από όσο η εμπειρική μελέτη ενός συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων. Για αυτούς τους λόγους, πιστεύουμε πως έχει ενδιαφέρον η σύγκριση των προβλέψεων που απορρέουν από τη μαθηματική ανάλυση, με πραγματικά δεδομένα, ώστε να ελεγχθούν οι θεωρητικές προβλέψεις και να συναχθούν αξιόπιστα, κατά το δυνατόν, συμπεράσματα.

Στην εικόνα του (σχ. 9), που έχει ληφθεί από ραντάρ πλευρικής σάρωσης, μπορεί κανείς να δει τις κλιτύς μιας ορεινής περιοχής πάνω στις οποίες προσπίπτει η μικροκυματική ακτινοβολία. Οι κλιτύες αυτές έχουν έντονη φωτεινότητα. Εμφανίζονται επίσης και περιοχές σχετικά χαμηλής φωτεινότητας, με γκρίζους τόνους, που αντιστοιχούν σε παγετώνες.

Στην τομή από την εικόνα ραντάρ (σχ. 10), διακρίνονται δυο περιοχές με απότομες μεταβολές φωτεινότητας, που αντιστοιχούν σε κλιτύς που εκτίθενται στην ακτινοβολία του ραντάρ, καθώς και μια ομαλότερα μεταβαλλόμενη περιοχή τιμών φωτεινότητας με μικρότερο πλάτος (στο διάστημα από 400 ως 500 μονάδες απόστασης στην κλίμακα της αποτύπωσης στην οθόνη του υπολογιστή), που αντιστοιχεί σε παγετώνα.

Στην εικόνα ραντάρ εφαρμόστηκαν τα φίλτρα ιδανικό, Bartlett και Butterworth, αξιοποιώντας το λογισμικό ERDAS και επιλέγοντας συχνότητα αποκοπής ίση με 50. Η τομή του (σχ. 11) αντιστοιχεί σε αυτήν του (σχ. 10) και προκύπτει από την εφαρμογή του ιδανικού φίλτρου στην εικόνα του ραντάρ. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη φωτεινότητας του (σχ. 11) έχει εξομαλυνθεί σε σχέση με αυτήν του (σχ. 10) και οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται μειωμένες. Η εξασθένηση είναι πιο έντονη στην περιοχή τιμών φωτεινότητας του παγετώνα, καθότι η περιοχή αυτή, στην τομή της αρχικής εικόνας (σχ. 9), παρουσιάζει μια πιο ομαλή («γκαουσιανή») συμπεριφορά σε σχέση με τις άλλες περιοχές τοπικού μεγίστου.

Σχ. 9. Εικόνα ραντάρ πλευρικής σάρωσης από περιοχή με παγετώνες (γκρίζοι τόνοι).
Fig. 9. An image of an area covered with glaciers (gray tones), obtained by a side scanning radar.



Σχ. 10. Τομή της εικόνας ραντάρ. Η περιοχή από 400 ως 500 μονάδες απόστασης αντιστοιχεί σε παγετώνα.
Fig. 10. A profile of the radar image. The area between 400 and 500 distance units corresponds to a glacier.
Σχ. 11. Εφαρμογή ιδανικού φίλτρου στην εικόνα ραντάρ.

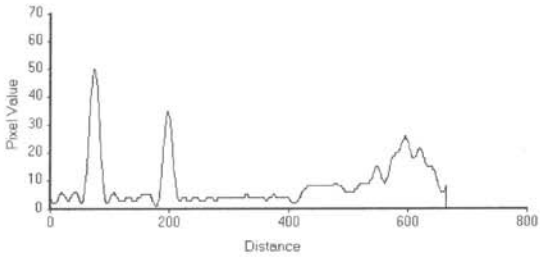


Fig. 11. Application of the ideal filter on the radar image.

Σχ. 12. Εφαρμογή φίλτρου Bartlett στην εικόνα ραντάρ.

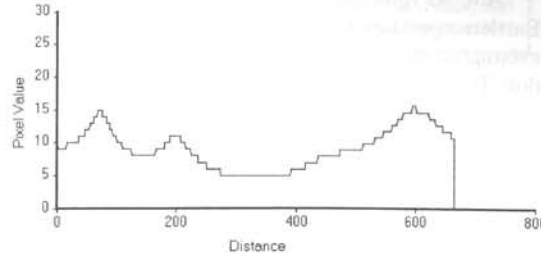


Fig. 12. Application of the Bartlett filter on the radar image.

Σχ. 13. Εφαρμογή φίλτρου Butterworth στην εικόνα ραντάρ.

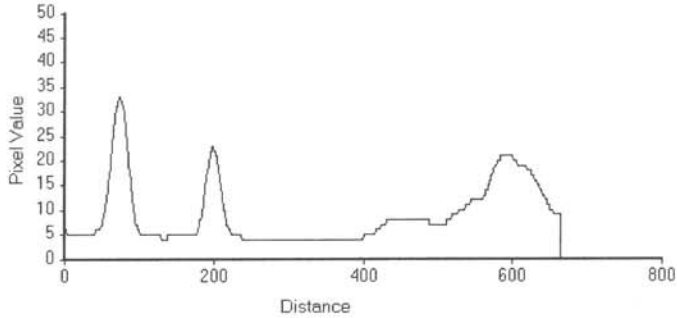


Fig. 13. Application of a Butterworth filter on the radar image.

Η τομή του (σχ. 12) προκύπτει από την εφαρμογή του φίλτρου Bartlett στην αρχική εικόνα. Εδώ, η εξασθένηση είναι μεγάλη, και για τις τρεις περιοχές τιμών φωτεινότητας, όπως εξάλλου έδειξε και η μαθηματική ανάλυση.

Η τομή του (σχ. 13) προκύπτει από επεξεργασία της εικόνας ραντάρ με φίλτρο Butterworth. Εδώ, η εξασθένηση είναι σαφώς μικρότερη από όσο στην τομή που αντιστοιχεί στο φίλτρο Bartlett, όμως τα πλάτη των περιοχών που αντιστοιχούν στις κλιτύς είναι μικρότερα από αυτά της τομής που προκύπτει από το ιδανικό φίλτρο. Φαίνεται πως στην περίπτωση του ιδανικού φίλτρου, το φαινόμενο Gibbs συνέβαλε σε μια σχετική αύξηση των πλατών της τομής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εφαρμογή φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων σε ψηφιακή εικόνα, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το πλάτος του σήματος που αντιστοιχεί σε στόχο ενδιαφέροντος. Αυτή η εξασθένηση, που εξαρτάται από τον τύπο του σήματος, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στην αντίθεση φωτεινότητας. Στόχοι που στην πρωτογενή εικόνα αποτυπώνονται με σχετικά μεγαλύτερη φωτεινότητα ως προς άλλους στόχους, μπορούν, μετά το φιλτράρισμα, να αποτυπωθούν με σχετικά μικρότερη φωτεινότητα. Αν, στην επεξεργασμένη εικόνα, πρόκειται να γίνει άμεση οπτική ερμηνεία, αυτό ίσως να μην είναι σοβαρό πρόβλημα, στο βαθμό που αναγνωρίζονται, με ποιοτικούς όρους, οι στόχοι ενδιαφέροντος. Αν όμως οι τιμές φωτεινότητας της επεξεργασμένης εικόνας συνδυαστούν με τα δεδομένα άλλων εικόνων, με σκοπό να σχηματιστούν λόγοι φασματικών ζωνών ή να εφαρμοστούν αλγόριθμοι πολυφασματικής ταξινόμησης, τότε μπορούν να υπεισέλθουν σφάλματα κατά την ψηφιακή ανάλυση και ερμηνεία του τελικού προϊόντος. Τέτοια σφάλματα μπορούν να αποφευχθούν, αν, μετά την εφαρμογή του φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, εξεταστούν οι λόγοι φωτεινότητας μεταξύ των διαφόρων στόχων. Αν οι λόγοι δε διαφέρουν πολύ από τους αντίστοιχους της αρχικής εικόνας, τότε μπορεί να εκτιμηθεί ότι η αρχική εικόνα δεν έχει αλλοιωθεί σημαντικά. Στην αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να μεταβληθεί η συχνότητα αποκοπής για να αποφευχθούν ή να περιοριστούν τέτοιου είδους σφάλματα. Με διάφορες δοκιμές, μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη συχνότητα αποκοπής, ώστε και ο υψίσυχνος θόρυβος να απομακρυνθεί και να μη χαθεί πληροφορία που μας ενδιαφέρει να εξαγάγουμε.

Από τα τρία φίλτρα που μελετήθηκαν (ιδανικό, Bartlett και Butterworth), διαπιστώθηκε ότι το φίλτρο Bartlett προκαλεί τη μεγαλύτερη εξασθένηση στο σήμα, με αποτέλεσμα να γίνονται δυσδιάκριτοι οι στόχοι ενδιαφέροντος. Για το λόγο αυτό, εκτιμούμε πως δεν προσφέρεται για την απομάκρυνση του υψίσυχνου θορύβου. Το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth, έχουν καλύτερα αποτελέσματα, καθώς δεν προκαλούν τόσο μεγάλες εξασθενήσεις. Στην περίπτωση του ιδανικού φίλτρου, εκδηλώνεται το φαινόμενο Gibbs, που προκαλεί κάποιες παραμορφώσεις στο σήμα, χωρίς όμως να αλλοιώνει τα βασικά του χαρακτηριστικά, όταν η συχνότητα αποκοπής είναι σχετικά υψηλή. Οι στρεβλώσεις αυτές, μπορούν μάλιστα να συμβάλουν στο να εκδηλωθεί με μεγαλύτερη ευκρίνεια ο στόχος ενδιαφέροντος. Τέλος, το φίλτρο Butterworth φαίνεται να διατηρεί το περίγραμμα του αρχικού στόχου, χωρίς σημαντικές στρεβλώσεις.

Τα πορίσματα της εργασίας αυτής, μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και εικόνων ραντάρ, με σκοπό την αναγνώριση γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τοπογραφικών και άλλων στόχων ενδιαφέροντος. Με μια κατάλληλη επιλογή της συχνότητας αποκοπής, μπορούν να εκφραστούν ευκρινέστερα (απαλλαγμένες από υψίσυχνο θόρυβο) εκτεταμένες γεωλογικές δομές όπως πτυχές, επαφές, λιθολογικές ενότητες και πιθανώς ζώνες εξαλλοίωσης αν έχουν ικανοποιητική έκταση. Επιλέγοντας μια βέλτιστη συχνότητα αποκοπής μπορεί να αποφευχθεί σοβαρή αλλοίωση της φωτεινότητας των γεωλογικών ή εδαφολογικών στόχων που εμφανίζονται στην εικόνα και σαν αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί μια πιο αξιόπιστη ταξινόμησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AL-HINAI, K.G., KHAN, M.A. & CANAS, A.A., 1991: Enhancement of Sand Dune Texture from Landsat Imagery Using Difference of Gaussian Filter. *International Journal of Remote Sensing* 12, 1063-1069.

GONZALEZ, R.C. & WINTZ, P., 1987: *Digital Image Processing*. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts.

JENSEN, J. R., 1996: *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall. New Jersey.

PAPOULIS, A., 1962: *The Fourier Integral and its applications*. McGraw-Hill. New York.

RICHARDS, J.A. & JIA, X., 1999: *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer. Berlin.

SCHRADER, S. & POUNCEY, R., 1997: *ERDAS Field Guide*. ERDAS, Inc. Atlanta.

WATSON, K., 1993: Processing Remote Sensing Images Using the 2-D FFT – Noise Reduction and Other Applications. *Geophysics* 58(6), 835-852.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2017-2024, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2017-2024, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΟΡΕΙΝΩΝ ΟΓΚΩΝ ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ZAGROS RANGES (ΙΡΑΝ) ΑΠΟ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ GTOPO30*

Γ.Χ. ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Η μεθοδολογία αυτοματοποιημένου εντοπισμού ορεινών όγκων από το GTOPO30 τροποποιήθηκε εξαιτίας των ιδιαιτέρων γεωμορφομετρικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης Zagros Ranges στο Ιράν. Τώρα η κατάτμηση του ψηφιακού μοντέλου διακόπτεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατάτμηση των ορεινών όγκων στο ΒΔ τμήμα όπου παρατηρούνται φαράγγια με πολύ μεγάλες κλίσεις και οι ορεινοί όγκοι διαχωρίζονται από πολύ στενές επιμήκης κοιλάδες. Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίσθηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης.

ABSTRACT

In a previous research effort a methodology (DEM-to-Mount transformation) was developed for the extraction of mountains from the GTOPO30 digital elevation model (DEM). The GTOPO30 DEM represents the earth's relief at regional scale with spacing 30 arc seconds. The method was implemented in SW U.S.A (Basin and Range) where the crust is under tensional forces, thins by normal faulting, and results in an array of tipped mountain blocks that are separated from broad plain basins. The methodology integrates certain geomorphometric techniques (runoff simulation) with the digital image processing techniques (segmentation, connected components labelling, small objects elimination) and it is actually a region-growing segmentation algorithm that uses the ridge pixels as seeds and a growing criterion based on gradient.

The objective of the present research effort is to implement (and modify, if needed) the DEM-to-Mountain transformation to an area of compressional stress such as the Zagros Ranges where collision of the Arabian shield with Iran has shortened and thickened the crust to produce a spectacular mountainous physiography. The linear topographic highs represent huge folds (NW-SE anticlines), marked by SW facing topographic escarpments while the geometry of anticlines indicates the existence of basement (high angle) reverse faults that do not cut the overlying folds. In the SE portion of Zagros Ranges broad gently sloping valleys are observed in between the mountain features. On the contrary in the NW more tightly spaced mountain features are observed while narrow, deep, and high sloping valleys are developed in between them.

In order to cope with these conditions, the method was modified and the valley pixels were not allowed to participate in the region-growing segmentation process. More specifically, gradient and the aspect were computed on the basis of the Z-operator and the Sobel operator. Then, runoff simulation was implemented using the steepest-descent flow accumulation algorithm and ridge pixels and valley pixels were labeled on the basis of their runoff accumulation value. Two thresholds were identified through a trial and error procedure and the pixels with upslope-runoff greater than 9 were labelled as ridge pixels while those pixels with downslope-runoff greater than 7 were labelled as valley pixels. Finally an iterative region-growing segmentation algorithm was applied. During the first iteration, the ridge pixels formed the initial set of mountain pixels while the rest of the pixels formed the current set of non-mountain pixels. In each iteration, if a non mountain pixel satisfied the following three conditions (a) it's gradient was > 6°, (b) the pixel was an 8-connected neighbor to the current set of mountain pixels and (c) it did not belonged to the set of valley pixels, then it was flagged as a new mountain pixel and the current set of mountain pixels was updated. The segmentation stopped if no more pixels were added during the current iteration.

The output was a bit noisy due to the very small isolated islands of mountain pixels that represent either small remnants or artificial error peaks. Additionally some small islands of non-mountain pixels on mountaintops represent flat or gently sloping areas (gradient < 6°). To correct these artifacts, a connected component-label-

* EXTRACTION OF MOUNTAIN OBJECTS IN THE PHYSIOGRAPHIC ZONE OF ZAGROS RANGES

1. Εργαστήριο Τηλεπισκόπισης, Ε.Μ.Π.,Τριπολεως 38, Αθηνα 104-42, Email: miliaresis@email.com

ling algorithm was applied and both foreground (mount terrain class) and background objects (non-mount te rain class) were identified and shorted in ascending size order. Then, small isolated islands with size less than (pixels of mountain pixels were removed (assigned to the background). Additionally, small islands (size less tha 40 pixels) of non-mountain pixels standing on mountaintops and surrounded by mountain pixels were merged the mountain terrain class.

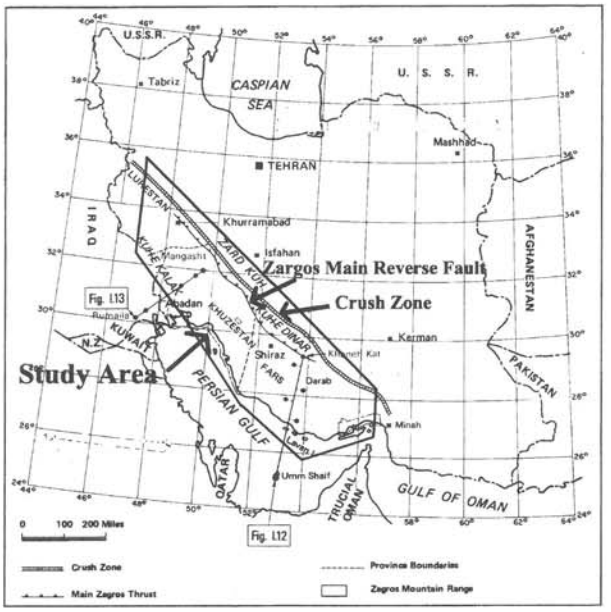
The segmentation of Zagros Mountains was judged from the visual interpretation with the computer-shade relief map of the DEM of the study area (location of the simulated sun was 30° above the horizon at NW Digital shaded-relief maps are a valuable tool for the computer visualization of landscape morphometry, allo ing the surface features to viewed in a broad regional context. Borderlines of the mountain objects were delin ated and superimposed on the shaded-relief map. The extracted mountain objects were interpreted to be accordance the mountain features interpreted visually from the shaded relief map. The methodology allowe the extraction of mountain features in an area with different regional geomorphic conditions than those o served in the Basin and Range physiographic province. In the future, the mountains will be represented by a s of numerical attributes and the landscape will be characterized on the basis of the morphometry of mountain

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κατάτμηση πεδίου, Γεωμορφομετρία, Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, Μορφοτεκτονικ Γεωμορφολογία μικρής κλίμακας.

KEY WORDS: Terrain segmentation, Geomorphometry, Digital image processing, Morphotectonics, Glob geomorphology.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Πολλές ερευνητικές προσπάθειες στο παρελθόν κατέγραψαν την σχέση της μορφολογίας του εδάφους μ την τεκτονική (Merrits και Ellis 1994, Keller και Pinder 1996, Summerfield 2000). Ομως μέχρι σήμερα, οι ορ σειρές δεν έχουν θεωρηθεί σαν οι βασικές μορφοτεκτονικές οντότητες σε φυσιογραφική κλίμακα και δε έγινε προσπάθεια να εντοπισθούν από ψηφιακά μοντέλα εδάφους (ποσοτικός-σαφής ορισμός) και να περ γράφουν μαθηματικά (παραμετρική αναπαράσταση που επιτρέπει στατιστική σύγκριση και δημιουργία προτ πων).



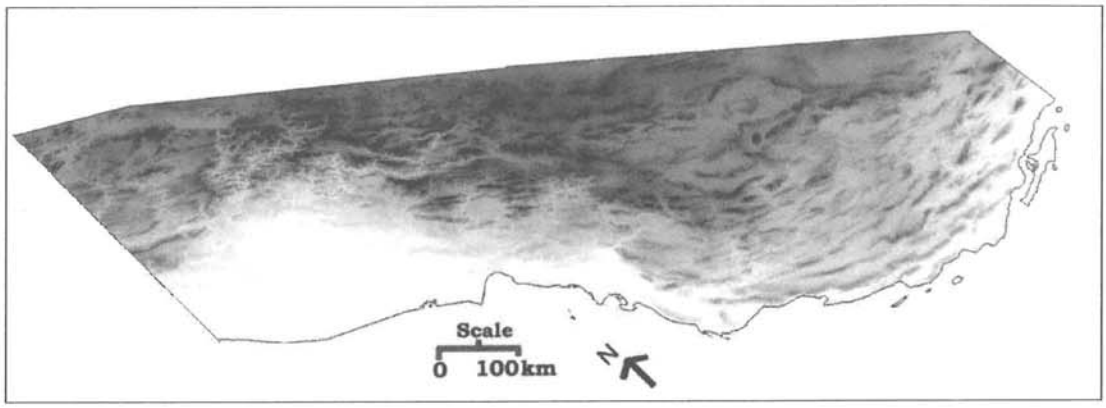
Σχήμα 1. Η περιοχή μέλετης στο φυσιογραφικό χάρτη του Ιραν (Asfar et al. 1976).
Figure 1. The study area within the Zagros Ranges physiographic zone (Asfar et al. 1976).

Σήμερα το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GTOPO30 με μέγεθος καννάβου 30 δεύτερα της μοίρας (US Geo logical Survey 1998) επιτρέπει την αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε μικρή κλίμακα, ενώ αναπτύχθηκ μεθοδολογία εντοπισμού των ορεινών όγκων από το GTOPO30 (Miliaresis και Argialas 1998a, 1998b, 1999a

1999b). Η μέθοδος εφαρμόσθηκε στην φυσιογραφική ενότητα Basin and Range (Ν.Δ. Η.Π.Α.) όπου εφελκυστικές τάσεις δημιουργούν μια σειρά από ασύμμετρες και κεκλιμένες οροσειρές ανάμεσα από σχεδόν επίπεδες λεκάνες απόθεσης (Howell 1995). Αυτή η ερευνητική προσπάθεια αποσκοπεί στην εφαρμογή και τροποποίηση (εάν αυτό κριθεί απαραίτητο) της μεθοδολογίας εντοπισμού των ορεινών όγκων στην φυσιογραφική ενότητα Zagros Ranges μια περιοχή όπου τα μορφοτεκτονικά δεδομένα είναι διαφορετικά από αυτά της ενότητας Basin and Range (Oberlander 1985, Tucker και Slingerland 1996, Kooi και Beaumont 1996, Seber et al. 1997). Κατά αυτό τον τρόπο θα αναπτυχθεί μια μεθοδολογία που θα επιτρέπει την κατάτμηση των οροσειρών σε γήινη κλίμακα επιτρέποντας την ποσοτική σύγκριση φυσιογραφικών ενοτήτων και την μαθηματικοποίηση της φυσιογραφικής ανάλυσης. Η μεθοδολογία υλοποιείται στο λογισμικό περιβάλον GeoLogic Shell που διατίθεται στο διαδίκτυο στην διεύθυνση http://miliaresis.tripod.com/ ή http://members.nbci.com/miliaresis/ .

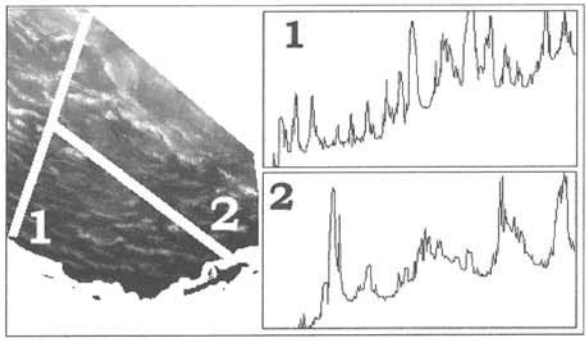
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης είναι η φυσιογραφική ενότητα Zagros Ranges (Σχήμα 1) όπου λαβαίνει χώρα η σύγκρουση της Αραβικής τεκτονικής πλάκας με το Ιράν (Summerfield 1991). Οι ορεινοί όγκοι (επιμήκη τεμάχη με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ) είναι το προϊόν της πτύχωσης σε συνδυασμό με την δράση υπο-επιφανειακών ανάστροφων ρηγμάτων με πολύ μεγάλη κλίση (Berberian 1995). Το ψηφιακό μοντέλο της περιοχής μελέτης (Σχήμα 2) διορθώθηκε γεωμετρικά έτσι ώστε η διάσταση του να είναι 926 μέτρα και καλύπτει περίπου 330.000 χλμ^2. Υψομετρικές τομές (Σχήμα 3)αποδεικνύουν ότι οι οροσειρές αναπτύσσονται σε αυξανόμενο υψόμετρο από ΝΑ προς τα ΒΔ. Εάν αναπτύσσονταν στο ίδιο πανεπίπεδο, τότε ο εντοπισμός τους μπορούσε να γίνει με κατάτμηση του ιστογράμματος συχνότητας του υψομέτρου και επισήμανση όλων των εικονοστοιχείων του ψηφιακού μοντέλο εδάφους με υψόμετρο μεγαλύτερο από κάποια τιμή (υψόμετρο του πανεπιπέδου).



Σχήμα 2. Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής μελέτης. Το υψόμετρο (από 0 έως 3000 μ) τυποποιήθηκε στο διάστημα [255 , 0] Έτσι όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερο είναι το υψόμετρο του.

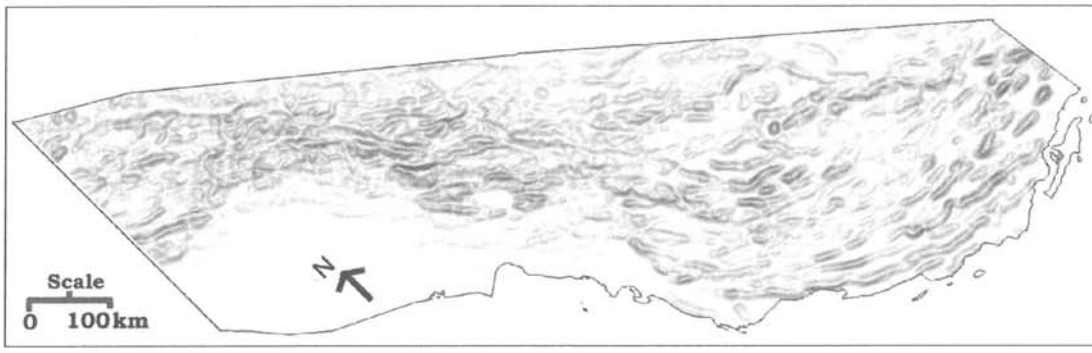
Figure 2. GTOPO30 DEM of the study area. The elevation (1 to 3.000 m) was rescaled to the interval 255 to 0 (the brightest pixels have lowest elevation).



Σχήμα 3. Εγκάρσια (1) και επιμήκης (2) υψομετρική τοπογραφική τομή.
Figure 3. Elevation profiles.

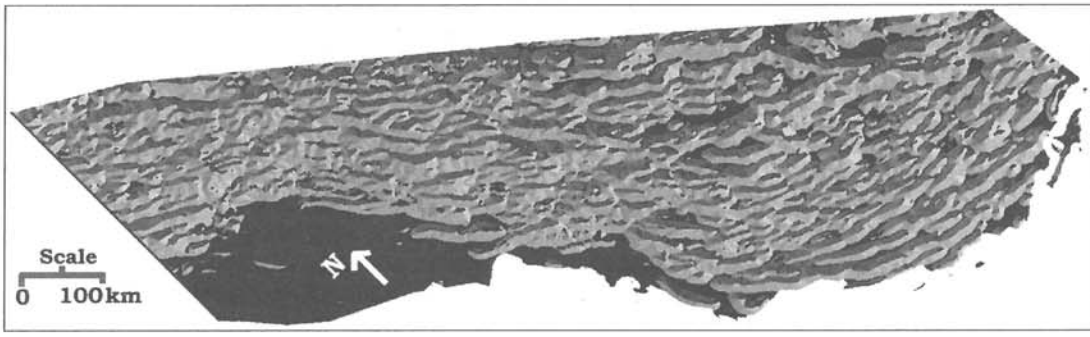
Οι Μηλιαρέσης και Αργιαλάς (1998a, 1999a, 1999b) πρότειναν μια μέθοδο για τον εντοπισμό ορεινών και μη ορεινών περιοχών από το GTOPO30. Η μέθοδος χρησιμοποιεί το μέτρο της κλίσης και τα τοπικά μέγιστα του ανάγλυφου (υδροκρίτες). Πιο συγκεκριμένα πρώτα ορίζεται ένα αρχικό σύνολο από σημεία-σπόρους που ανήκουν στις ορεινές περιοχές (υδροκρίτες). Στην συνέχεια νέα σημεία του ψηφιακού μοντέλου προστίθενται στο αρχικό σύνολο, με βάση την εγγύτητα τους με σημεία που έχουν ήδη ταξινομηθεί στις ορεινές περιοχές και εφόσον το μέτρο της κλίσης τους ξεπερνά τις 6 μοίρες.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να επαναπροσδιορισθεί το αυξητικό κριτήριο και το σύνολο των αρχικών σημείων σπόρων. Πρώτα υπολογίζεται το μέτρο της κλίσης (Σχήμα 4) και η διεύθυνση της (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Το μέτρο της κλίσης είναι στο διάστημα [0°,44°] και τυποποιήθηκε στο διάστημα [255,0]. Όσο φωτεινότερο είναι ένα σημείο τόσο μικρότερη είναι η κλίση.

Figure 4. Gradient. The pixels (in the range 0° to 44°) were rescaled to the interval 255 to 0 (the brightest pixels have lowest gradient).



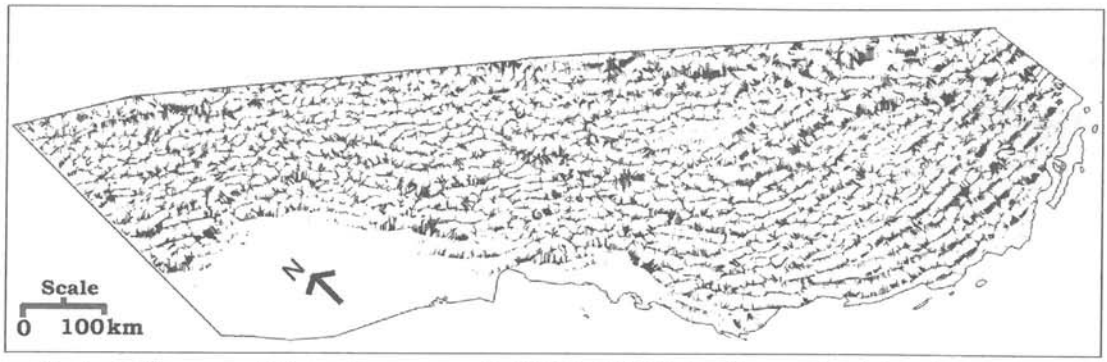
Σχήμα 5. Το διάνυσμα της κλίσης τυποποιημένο στις 8 διευθύνσεις που ορίζονται σε μιά ψηφιακή εικόνα ((Α=1, ΒΑ=2, Β=3, ΒΔ=4, Δ=5, ΝΔ=6, Ν=7, ΝΑ=8)). Το 0 έχει χρησιμοποιηθεί για επίπεδα εικονοστοιχεία (μέτρο της κλίσης <2°).

Figure 5. Aspect.The aspect was quantified to the eight directions (East=1, Northeast=2, North=3, Northwest=4, West=5, Southwest=6, South=7, Southeast=8) defined in a raster image. Zero labels were used for flat terrain (gradient < 1°).

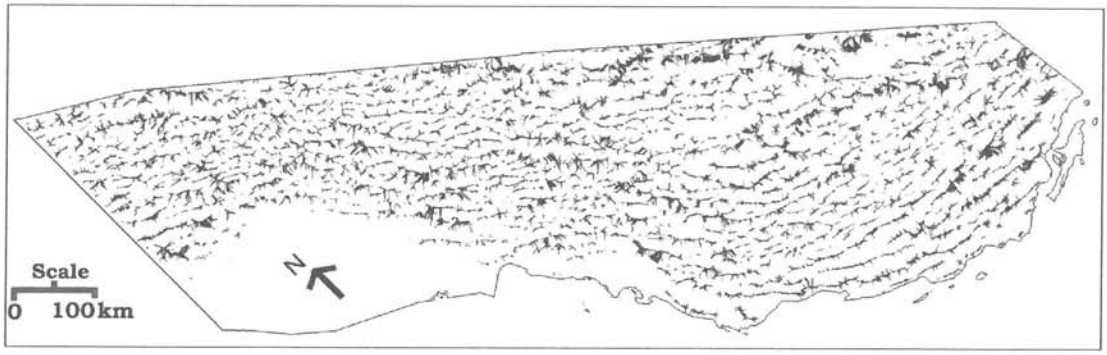
Μετά προσδιορίζεται το υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 6) και οι υδροκρίτες (Σχήμα 7) με την μεθοδολογία προσομοίωσης ροής (Mark 1984).

Περιοχές εκπαίδευσης υποδεικνύουν ότι Β.Δ. αναπτύσσονται φαράγγια με κλίση μεγαλύτερη από 6°. Αυτό σημαίνει ότι με αυξητικό κριτήριο «μέτρο της κλίσης > 6°» οι ορεινοί όγκοι δεν μπορούν να κατατμηθούν στο Β.Δ. τμήμα. Για αυτό η μεθοδολογία τροποποιείται, ως εξής:

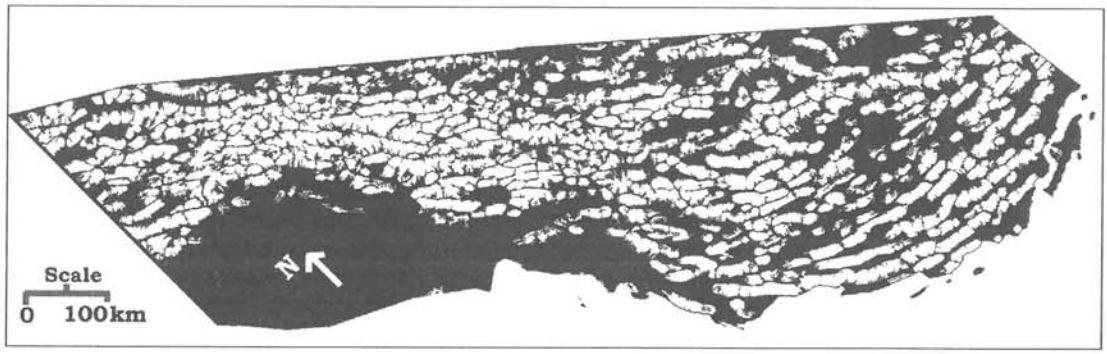
1. τα σημεία σπόροι είναι οι υδροκρίτες (Σχήμα 7),
2. το αυξητικό κριτήριο παραμένει ως έχει
3. μόνο που η κατάτμηση του διακόπτεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Υδρογραφικό δίκτυο. Εικονοστοιχεία (62327 ή 16.15%) με δυναμικό ροής (φορά κατάντη της κλίσης) > 7.
Figure 6. Ridge pixels. Downslope runoff threshold > 7. Pixels labeled 62327 (16.15 %)



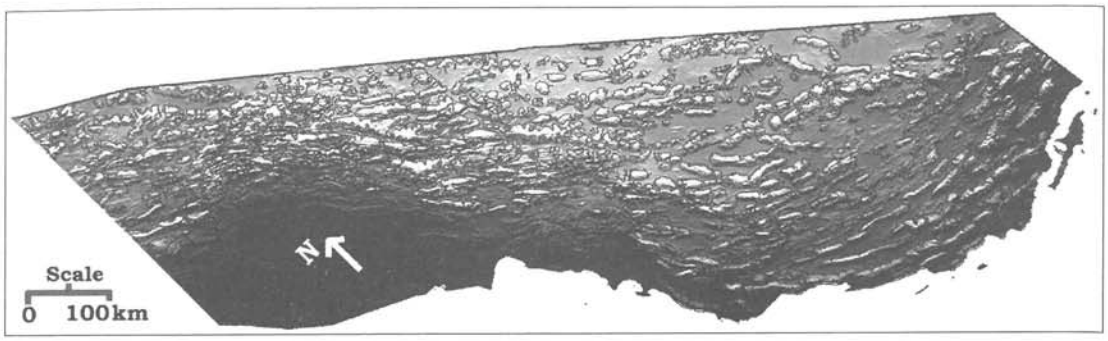
Σχήμα 7. Υδροκρίτες. Εικονοστοιχεία (45031 ή 11.7%) με δυναμικό ροής (φορά ανάντη της κλίσης) > 9.
Figure 7. Ridge pixels. Upslope runoff threshold > 9. Pixels labeled 45031 (11.7%).



Σχήμα 8. Τα εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν στις ορεινές περιοχές έχουν απεικονιστεί άσπρα.
Figure 8. The pixels labeled white represent the mountain terrain class.

Μια επαναληπτική διαδικασία κατάτμησης εφαρμόζεται και ένα σημείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που είναι 8-απλής-σύνδεσης γείτονας (Πήττας 1996) προς το σύνολο των αρχικών σημείων-σπόρων, συμπεριλαμβάνεται σε αυτά, εάν το μέτρο της κλίσης του είναι μεγαλύτερο από 6 μοίρες και δεν ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο. Το τελικό αποτέλεσμα μετά την επαναταξινόμηση μικρών νησίδων (Πήτας 1996) απεικονίζεται στο Σχήμα 8.

Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίσθηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου (Reichenbach et al. 1993) της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 9. Τα όρια των ορεινών αντικειμένων (μαύρες γραμμές) σε υπέρθεση στον χάρτη σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής μελέτης.

Figure 9. The border-lines (shown black) of the mountains superimposed on the shaded- relief map of the study area.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η μεθοδολογία αυτοματοποιημένου εντοπισμού ορεινών όγκων από το GTOPO30 τροποποιήθηκε εξαιτίας των ιδιαιτέρων γεωμορφομετρικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης Zagros Ranges στο Ιράν. Τώρα η κατάτμηση του ψηφιακού μοντέλου διακόπτεται όταν προσεγγίζονται τα σημεία που ανήκουν στο υδρογραφικό δίκτυο και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κατάτμηση των ορεινών όγκων στο ΒΔ τμήμα όπου παρατηρούνται φαράγγια με πολύ μεγάλες κλίσεις και οι ορεινοί όγκοι διαχωρίζονται από πολύ στενές επιμήκης κοιλάδες. Οι ορεινοί όγκοι που εντοπίσθηκαν είναι σε συμφωνία με τα ορεινά αντικείμενα που ερμηνεύονται από τον χάρτη σκιασμένου ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Στο μέλλον η σύγκριση των παραμετρικών αναπαραστάσεων των ορεινών όγκων θα οδηγήσει στην σύνθεση ερμηνευτικών μορφοτεκτονικών μοντέλων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASFAR, A., ESHGHI, M., AND ODOULI, K., 1976. Geological history and stratigraphy of Iran. In: Proceedings, Schlumberger's Well Evaluation Conference, Tehran, Iran, pp.9-26.

BERBERIAN, M., 1995. Master "Blind" Thrust Faults Under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. Tectonophysics, 241, 193-224.

HOWELL, D., 1995. Principles of terrane analysis - new applications for global tectonics, 2nd edn. Chapman and Hall, London, 245pp.

KELLER, E., PINDER, N., 1996. Active tectonics - earthquakes, uplift and landscape. Prentice Hall, New Jersey, 338pp.

KOOI, H., BEAUMONT, C., 1996. Large-scale geomorphology: Classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface process model. *Journal of Geophysical Research* 101 (B2), 3361-3386.

MARK, D., 1984. Automated detection of drainage network from digital elevation models. *Cartographica,* 21, 168-178.

MERRITTS, D., ELLIS, M., 1994. Introduction to special section on tectonics and topography. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99, No B6, 12135-41.

MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1998a. Physiographic Feature Extraction From Moderate Resolution Digital Elevation Data. 24th International Conference of the Remote Sensing Society, Greenwich (U.K.), September 9–11, pp. 545-551.

MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1998b. Parametric Representation and Classification Of Mountain Objects Extracted From Moderate Resolution Digital Elevation Data. Proceedings, 4th International Conference of the Association for Mathematical Geology, Ispra-Naples (Italy), October 5 – 9, pp. 892-897.

MILIARESIS, G.CH., ARGIALAS, D.P., 1999a. Segmentation of Physiographic Features from the Global Digital Elevation Model / GTOPO30. *Computers & Geosciences*, Vol. 25, No. 7, 715-728.

ΜΗΛΙΑΡΕΣΗΣ Γ. ΚΑΙ ΑΡΓΙΑΛΑΣ, Δ.. 1999b. Εντοπισμός ορεινών όγκων από μέτριας διακριτικής ικανότητας ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα. Πρακτικά, 5ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα 11-13 Νοεμβρίου, 308-317.

OBERLANDER, T., 1985. Origin of drainage transverse to structures in orogens. In: Morisava, M., and Hack,

J.T., (Eds.), Tectonic Geomorphology. Allen and Unwin, London, pp.155-182.
ΠΗΤΑΣ, Ι., 1996. Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Θεσσαλονίκη 331 σελ.
REICHENBACH, P., R. PIKE, W. ACEVEDO AND R. MARK, 1993. A new landform map of Italy in computer-shaded relief. Anno LII - Bolletino Di Geodesia E Scienze Affini, 1, 21-44.
SEBER, D., VALLVE, M., SANDVOL, E., STEER, D., BARAZANGI, M., 1997. Middle East tectonics: applications of geographic information systems (GIS). GSA Today 7, 1-6.
SUMMERFIELD, M., 1991. Global Geomorphology, Longman Group, Essex, 537 p.
SUMMERFIELD, M., (Ed.) 2000. Geomorphology and Global Tectonics. John Wiley & Sons, New York, 386 p.
TUCKER, G., SLINGERLAND, R., 1996. Predicting sediment flux from fold and thrust belts. *Basin Research* 8, 329-349
U.S. Geological Survey, 1998. GTOPO30: Global DEM. http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2025-2032, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2025-2032, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ*

Μ. ΣΤΕΦΟΥΛΗ[1]

ΣΥΝΟΨΗ

Αντικειμενικός στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση της συμβολής επιχειρησιακών δορυφορικών συστημάτων, μετά από την εφαρμογή τεχνικών μίξης των δεδομένων τους, με σκοπό την ερμηνεία των γεωλογικών χαρακτηριστικών του εδάφους και κατ' επέκταση την ανάπτυξη συστήματος ενημέρωσης των γεωλογικών χαρτών. Τεχνικές επεξεργασίας εικόνας έχουν εφαρμοσθεί στις δορυφορικές εικόνες για τη γεωμετρική διόρθωσή τους, τη μείωση του όγκου της πληροφορίας που περιέχεται στην ανακλώμενη περιοχή του φάσματος, την ταυτόχρονη συσχέτιση των διαφορετικής διακριτικής ικανότητας εικόνων, όπως και την εφαρμογή τεχνικών ταξινόμησης. Το αποτέλεσμα της μελέτης δείχνει ότι τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ενημέρωση γεωλογικών χαρτών κλίμακας έως 1:25,000.

ABSTRACT

The use of Landsat and SPOT images in geologic mapping is well established. However, there is a continuous improvement of the specifications of satellite systems and thus an improvement of the data quality of the image data that are provided to the end user. Landsat 7 data have been available to the scientific community since summer 1999. The aim of the work has been to evaluate the applicability of the use of digital Landsat 7 & SPOT Panchromatic data combined with multispectral images (Fusion data) for the mapping of local scale geological features using advanced image processing techniques.

Image processing techniques have been applied to remotely sensed data for:

- Removal of artifacts related to atmosphere.
- Rectification of the images.
- Reduction of the high inter-band correlation inherent to the reflected part of the spectrum through the decorrelation stretching of bands.
- Interpolation and co-registration of all data sets.
- Image integration / creation of data fusion image products.

Remotely sensed imagery has been interpreted in terms of geologic structures, and lithology for a test area of study in Vermio (Pirgoi topographic sheet) so as to achieve the evaluation results. The interpretations have been verified with the 1:50,000 & 1:25,000 scale geologic maps. The system proved to be effective in:

- Covering the need for system development, concerning the image processing and GIS tasks.
- Providing flexible image processing facilities to enhnace relevant image features.
- Providing tools for image registration, geometric corrections.
- Allowing information from different sources to be combined. The production of the data fusion data is fully automated.
- Applying both raster and vector techniques, along with the application of modelling techniques.

The contribution of the remotely sensed data to the geologic and structural mapping of the pilot project area is indicated with the processed satellite imagery. Geologic features have been mapped on the satellite imagery. More structural features are depicted on the satellite images than the general scale geologic maps.

Fusion data can contribute to the geologic map updating. Generally, the use of the remotely sensed images in geologic map updating to scales up to 1:25,000 lies in the fact, that various geologic and mainly structural features can be mapped quickly for large areas. The time that is needed to delineate the general structure of the area and to mark lithological features is a very short one, relatively to that needed for the construction of a geological map. Landsat 7 data seem to be the most cost-effective solution for geologic map updating. The cost to processing functions is well justifiable to a geologic map updating procedure.

* GEOLOGIC MAP UPDATING USING HIGH RESOLUTION IMAGES OF THE MOST RECENT SATELLITE SYSTEMS

1. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών, Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τηλεπισκόπηση, δορυφορικές εικόνες Landsat 5 / 7 & SPOT, επεξεργασία εικόνας, ψηφιακή μίξη εικόνων, ερμηνεία, ενημέρωση γεωλογικών χαρτών.

KEY WORDS: Remote Sensing, Landsat 5 / 7 & SPOT satellite images, data fusion, image interpretation, geologic map updating.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τηλεπισκόπηση δίδει σημαντική πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ενημέρωση των γεωλογικών χαρτών. Έχει καθιερωθεί η χρήση των Landsat και SPOT εικόνων σε θέματα γεωλογικών χαρτογραφήσεων. Επίσης σε διάφορες εργασίες γίνεται χρήση της εφαρμογής τεχνικών σύνθεσης και ταξινόμησης με νευρωνικά δίκτυα, (Kanellopoulos et. al.,1994; Key et. al.,1989). Οπωσδήποτε η ενημέρωση ενός γεωλογικού χάρτη είναι σύνθετη εργασία, και γι' αυτό δεν έχει γίνει η αξιολόγηση εξειδικευμένων τεχνικών επεξεργασίας, σε εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας για το γεωλογικό περιβάλλον της Ελλάδας. Γενικά, οι δυνατότητες της τηλεπισκόπησης στη γεωλογική έρευνα, δεν αξιοποιούνται πάντα σε όλος το εύρος των δυνατών εφαρμογών τους γιατί :

1. Οι επιλογές χρήσης τόσο των διαφορετικών τύπων δεδομένων των δορυφορικών συστημάτων / τεχνικών σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον, τις διάφορες εφαρμογές και το κόστος, είναι σύνθετες. Παράλληλα, έχει πραγματοποιηθεί η αποστολή νέων δορυφορικών συστημάτων με βελτιωμένες προδιαγραφές, όπως είναι μεταξύ άλλων και αυτή του Landsat 7.
2. Τα συστήματα επεξεργασίας εικόνας δεν είναι σχεδιασμένα για απ' ευθείας εφαρμογές στην έρευνα του γεωλογικού περιβάλλοντος.
3. Δεν υπάρχει πάντα η σωστή επικοινωνία μεταξύ των γεωλόγων και των τεχνικών επεξεργασίας εικόνας, ενώ απαιτείται παράλληλη χρήση τόσο τεχνικών επεξεργασίας εικόνας όσο και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μ' ένα σχετικά υψηλό κόστος που δεν είναι πάντα διαθέσιμο.
4. Υπάρχουν προβλήματα με τη γεωμετρία των στοιχείων χαρτών / εικόνων, ενώ απαιτείται η εφαρμογή πολυάριθμων μετασχηματισμών τόσο των ράστερ όσο και των διανυσματικών στοιχείων των χαρτών / εικόνων.
5. Πρέπει να χρησιμοποιούνται γεωλογικά κριτήρια κατά τη διάρκεια της ερμηνείας των δορυφορικών εικόνων ή όταν γίνεται η συγχώνευση των θεματικών πολυγώνων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη ερμηνείας μη υπαρκτών διαφοροποιήσεων και να επιτευχθεί η ενημέρωση των χαρτών.

Υποδεικνύεται η ανάγκη αξιολόγησης των διαθέσιμων δορυφορικών συστημάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ενημέρωση των γεωλογικών χαρτών. Αντικειμενικός στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη εφαρμογής που να καλύπτει την ψηφιακή ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ενημέρωσης γεωλογικών χαρτών. Πιλοτική εφαρμογή μελέτης είναι περιοχή του Δυτικού Βερμίου και ειδικότερα ένα επιλεγμένο τμήμα του Γεωλογικού Φύλλου Πύργοι. Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα του Δυτικού Βερμίου και αποτελείται από σχηματισμούς που έχουν αποτεθεί στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης και στο δυτικό όριο της Ζώνης Αλμωπίας, (Brunn, 1956; Photiades et. al., 1998).

Οι γεωλογικές χαρτογραφήσεις έχουν γίνει σε δύο διαφορετικές κλίμακες 1:50,000 και 1:25,000 (Φωτιάδης Α, Γρηγόρης Π) και καλύπτουν διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων και τεκτονικών δομών. Έγινε αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων ερμηνείας της εικόνας, με τους 1:50,000 και 1:25,000 κλίμακας γεωλογικούς χάρτες.

2. ΜΕΣΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Τα δεδομένα των δορυφορικών εικόνων που έχουν χρησιμοποιηθεί στη μελέτη αναφέρονται σε εικόνες των LANDSAT 5 / 7 και SPOT (Πανγχρωματική εικόνα) δορυφορικών συστημάτων, Πίνακας 1. Το TNTmips πακέτο λογισμικού έχει χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και την εφαρμογή των κατάλληλων διανυσματικών τεχνικών επεξεργασίας του πεδίου των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Οι τύποι πληροφορίας των οποίων συνήθως είναι απαραίτητη η συνεπεξεργασία με τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων στις διαφορετικές μελέτες, είναι τα στοιχεία του τοπογραφικού υποβάθρου, τα στοιχεία των γεωλογικών χαρτών, συλλεγμένα στοιχεία υπαίθρου και στοιχεία διαφόρων καταγραφών και εργαστηριακών αναλύσεων.

Η στρατηγική της τηλεπισκόπησης βασίζεται αφενός στη δυνατότητα καταγραφής διαφοροποιήσεων του επιφανειακού ανάγλυφου ή στη δυνατότητα αναγνώρισης διαφοροποιήσεων της επιφανειακής σύστασης του εδάφους. Ειδικά για τη γεωλογία βασικό ρόλο παίζουν οι διαφοροποιήσεις σε αργιλικά ορυκτά, ορυκτά σιδήρου, ασβεστίου αλλά και η κάλυψη γης με βλάστηση ή ανθωπογενείς κατασκευές. Επίσης, πολλές φορές είναι χαρακτηριστική η φασματική απόκριση των διαφόρων συστατικών του εδάφους ή των υδάτινων επιφανειών στη θερμική περιοχή του φάσματος. Εξέταση των φασματικών χαρακτηριστικών του εδάφους δίδει μία ένδειξη

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Χαρακτηριστικά των Landsat 5 / 7 και SPOT δορυφορικών συστημάτων.
TABLE 1. The data characteristics of the Landsat 5 / 7 & SPOT satellite systems.

LANDSAT 4 & 5	LANDSAT 7	SPOT
ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ: Thematic Mapper	ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ: Thematic Mapper ETM+	HRV Instrument
Περιοχές Φάσματος (μm) 1:0.45-0.52 2:0.52-0.60 3:0.63-0.69 4:0.76-0.90 5:1.55-1.75 6:10.40-12.50 7:2.08-2.35	Περιοχές Φάσματος (μm) 1:0.45-0.515 2:0.525-0.605 3:0.63-0.690 4:0.75-0.90 5:1.55-1.75 6:10.40-12.5 7:2.09-2.35 8:.52-.90 (Παγχρωματικό)	Περιοχές Φάσματος (μm) XS MODE - ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΟ 1: 0.50-0.59 2: 0.61-0.68 3.0.79-0.89 (+ 4: 1.55-1.75 στις πρόσφατες) P MODE - Παγχρωματικό 1 : 0.51-0.73 (Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε Πανγχρωματική εικόνα του SPOT συστήματος)
ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 30 μ (120 μ για Μπάντα 6)	ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 30 μ (60 μ για Μπάντα 6) (15 μ για Μπάντα 8)	ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 20 μ για XS MODE - ΠΟΛΥΦΑΣΜΑΤΙΚΟ 10 μ για P MODE - Παγχρωματικό
ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 16 ΗΜΕΡΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 16 ΗΜΕΡΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 26 ΗΜΕΡΕΣ
ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 8 BIT	ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 8 BIT	ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 8 BIT
PATH/ROW:184/032 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 26/10/1986	PATH/ROW:184/032 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 01/11/1999	PATH/ROW:086/268 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ 16/07/1994

στη θερμική περιοχή του φάσματος. Εξέταση των φασματικών χαρακτηριστικών του εδάφους δίδει μία ένδειξη της δυνατότητας αναγνώρισης τους στην Υπέρυθρη περιοχή του φάσματος.

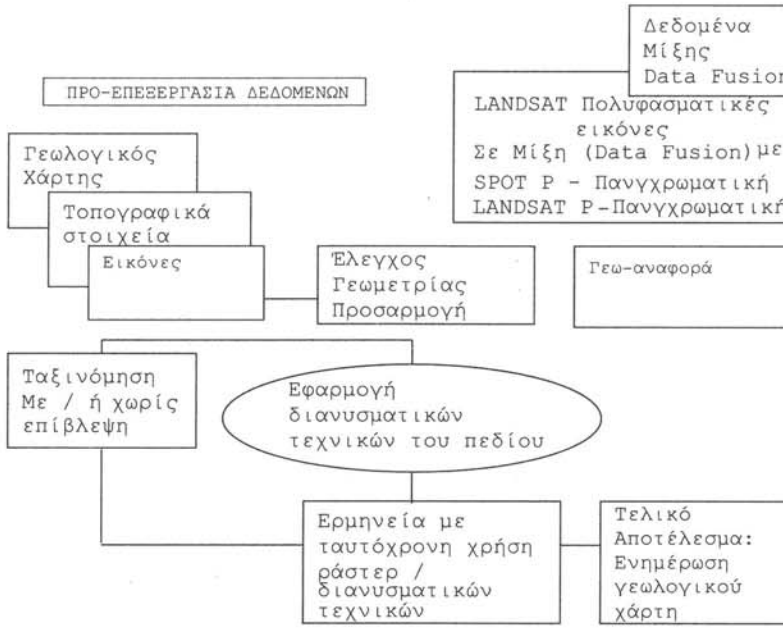
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΤΟΝΙΣΜΟΥ ΕΙΚΟΝΑΣ

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις στην επεξεργασία εικόνας. Η πρώτη προσέγγιση βελτιστοποιεί την πληροφορία της εικόνας το περιεχόμενό της και την ποιότητα, έτσι ώστε ο αναλυτής να μπορέσει να τη χρησιμοποιήσει κατευθεία για την ερμηνεία της. Η δεύτερη προσέγγιση καλύπτει τις τεχνικές που συμπεριλαμβάνουν τις αυτόματες ταξινομήσεις των δορυφορικών εικόνων. Ο τονισμός εικόνας ανήκει στην πρώτη προσέγγιση και έχει σαν σκοπό την καλύτερη αναπαράσταση της αρχικής εικόνας από τις οποίες πρέπει να επιλεχθούν οι πλέον κατάλληλες για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπρόσθετα, εξειδικευμένες τεχνικές χρησιμοποιούνται για τον φασματικό τονισμό των Landsat TM εικόνων, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ερμηνεία των γεωλογικών στοιχείων.

Οι βασικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας που έχουν χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη μελέτη δίδονται στον Πίνακα 2, ενώ στο Σχήμα 1 δίδεται διαγραμματική απεικόνιση των συνδυαστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της ενημέρωσης των χαρτών.

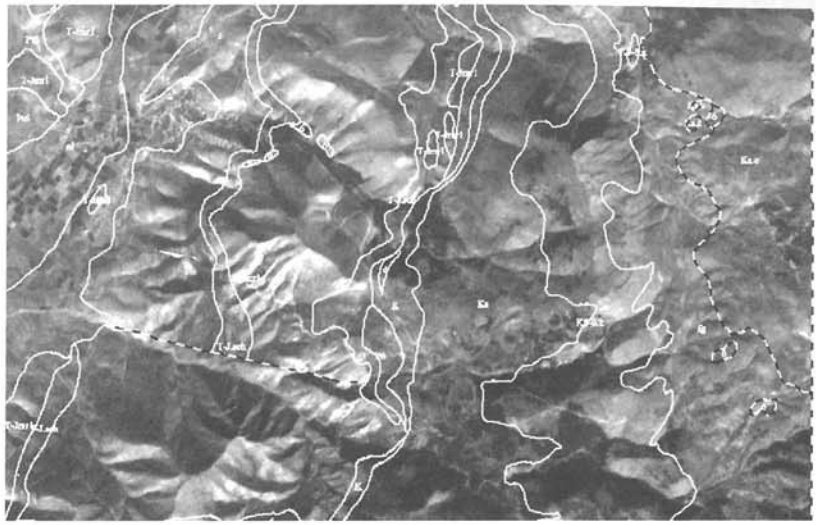
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ / ΤΟΝΙΣΜΟΣ ΕΙΚΟΝΑΣ / ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ
TABLE 2. PRE-PROCESSING / IMAGE ENHANCEMENT / CLASSIFICATION

Τεχνική Τονισμού	Περιγραφή	Αποτελέσματα
Γεωμετρική διόρθωση	Μοντέλο: Αφινικό	Απόδοση σύστημα EGSA
Αναδειγματοληψία	Κοντινής Γειτνίασης	Απόδοση διακριτικές ικανότητες των 10 & 15 μ.
Έγχρωμες συνθέσεις	Ανάλυση που εφαρμόστηκε : Υπολογισμός μήτρας 7*7μεταβλητότητας / συμμεταβλητότητας . Διαβάθμιση των οριζουσών για κάθε 3*3 υπο-ορίζουσα. Πειραματικός έλεγχος Ποιοτική αξιολόγηση.	Οι καλύτεροι συνδυασμοί επιτυγχάνονται μετά το συνδυασμό από τις μπάντες TM 1,3 (ή 4) και 5 (ή 7)όπως και στις εικόνες των πραγματικών χρωμάτων.
Εικόνες ΧΕΚ-HIS	Εφαρμογή του μετασχηματισμού Χροιάς, Έντασης, Κορεσμού (ΧΕΚ), έτσι ώστε να επιτευχθεί η συγχώνευση των διαφορετικής διακριτικής ικανότητας δεδομένων.	Υποδεικνύεται επ ίτευξη τον σμού εικόνων συμπίεση της σκιάς.
Εφαρμογή τεχνικών ταξνόμησης με επίβλεψη του Back-Propagation (Νευρωνικά Δίκτυα)	Καθορισμός εκπαιδευτικών πεδίων μετά από ερμηνεία των εικόνων. Ταξινόμηση της εικόνας σε προεπιλεγμένεςτάξεις. Αυτόματη μετατροπή του αποτελέσματος ταξινόμησης σε θεματικό / διανυσματικό χάρτη. Αποθήκευση των θεματικών ιδιοτήτων σε σχεσιακή βάση δεδομένων.	Αυτόματη ερμηνεία των φασματικών χαρακτηριστικών των εικόνων. Δυσδιάκριτες διαφορές μεταξύ των πετρωμάτων χαρτογραφούνται ικανοποιητικά.



ΣΧΗΜΑ 1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ
FIGURE 1. GEOLOGIC MAP UPDATING PROCEDURE

Οι συνδυασμοί των διαφορετικής διακριτικής ικανότητας εικόνων αποδεικνύονται ικανοποιητικοί στην ερμηνεία γεωλογικών χαρακτηριστικών του εδάφους, αφού οι διαφορετικοί τύποι σάρωσης δίδουν διαφορετική αλλά συμπληρωματική πληροφορία για τον ίδιο στόχο.



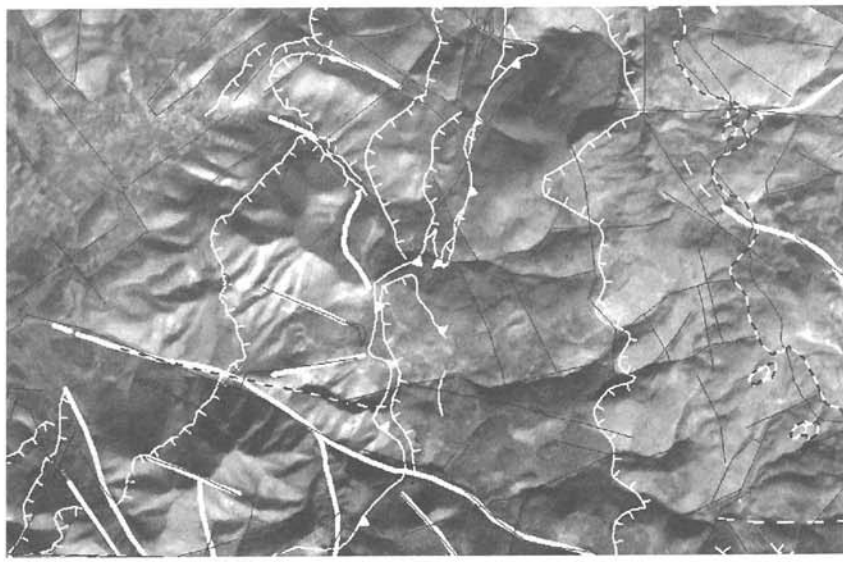
ΣΧΗΜΑ 2. Παγχρωματική εικόνα του SPOT δορυφορικού συστήματος με σχεδιασμό των ορίων των γεωλογικών σχηματισμών (άσπρες γραμμές) και τεκτονικών στοιχείων (διακεκομένες γραμμές) του 1:50,000 κλίμακας χάρτη. Είναι ενδεικτική η διαφοροποίηση που υπάρχει σε θέσεις.

FIGURE 2. The geologic elements of the 1:50,000 scale map have been plotted on the SPOT Panchromatic image. It is indicated that there are differences between the mapped features and the geologic information provided by the image.

4. Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ

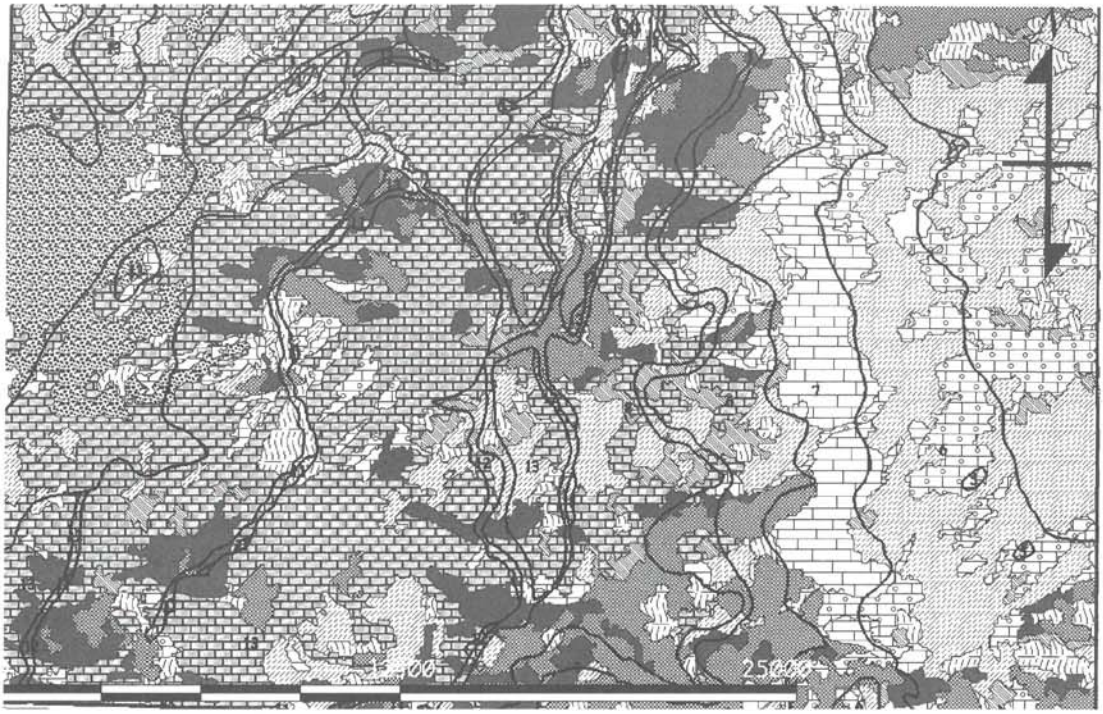
Η παράλληλη επεξεργασία των στοιχείων της δορυφορικής εικόνας με τα διάφορα γεωλογικά στοιχεία χαρτών είναι σημαντική ως προς την απόκτηση αξιόπιστων στοιχείων, διευκόλυνση της ερμηνείας και τελική ενημέρωση των στοιχείων του χάρτη. Η ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει τόσο τα σχεδιαστικά στοιχεία, όσο και τα ποιοτικά της βάσης δεδομένων. Η αποθήκευση των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε σχεσιακή βάση δεδομένων, διευκολύνει την κάθε επακόλουθη ανάλυση, όπως και την επιβολή συνδυαστικών επερωτήσεων. Στην περιοχή μελέτης έχουν αναλυθεί στοιχεία του γεωλογικού χάρτη σε συνδυασμό με τις διαφορετικής διακριτικής ικανότητας και τύπου δορυφορικές εικόνες. Είναι ενδεικτικό από τα Σχήματα 2 και 3 ότι οι δορυφορικές εικόνες δίδουν γεωλογική πληροφόρηση. Στην εικόνα του Σχήματος 3, έχουν σχεδιαστεί τα τεκτονικά στοιχεία των γεωλογικών χαρτών (διακεκομένες γραμμές για τα στοιχεία του 1:50,000 κλίμακας χάρτη και άσπρες γραμμές γι' αυτά του 1:25,000) όπως και η ερμηνεία των γεωλογικών γραμμικών στοιχείων (λεπτές μαύρες γραμμές). Υπάρχουν διαφοροποιήσεις σχετικά την πληροφορία των δύο γεωλογικών χαρτών, όπως για παράδειγμα το ρήγμα Δ-ΒΔ/Α-ΝΑ διεύθυνσης στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας του οποίου μόνο ένα μικρό τμήμα, με διαφορετική διεύθυνση έχει χαρτογραφηθεί στον 1:50,000 κλίμακας χάρτη. Αντίθετα είναι εμφανής η σύμπτωση που υπάρχει μεταξύ του ρήγματος αυτού του 1:25,000 κλίμακας χάρτη και του γεωλογικού γραμμικού στοιχείου που έχει χαρτογραφηθεί στη δορυφορική εικόνα. Παρόμοια ταύτιση ισχύει και για τα λοιπά γραμμικά στοιχεία των δορυφορικών εικόνων και των τεκτονικών στοιχείων του 1:25,000 χάρτη. Οπωσδήποτε σε περιοχές υποδεικνύεται ότι έχουν χαρτογραφηθεί περισσότερα γραμμικά στοιχεία στις δορυφορικές εικόνες.

Η συνδυαστική μελέτη όλων αυτών των στοιχείων υλοποιήθηκε γρήγορα και απρόσκοπτα στο διαθέσιμο πακέτο λογισμικού. Υποδεικνύεται ότι η χρήση των δορυφορικών εικόνων μπορεί να βοηθήσει στην ενημέρωση των γεωλογικών χαρτών. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4, είναι δυνατή η οριοθέτηση των γεωλογικών σχηματισμών με ακρίβεια, αφού το αποτέλεσμα προσεγγίζει τον 1:25,000 χάρτη. Για παράδειγμα, παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις στη χαρτογράφηση του ορίου των ασβεστολίθων που αντιστοιχούν με το πολύγωνο με κωδικό 7 του 1:25,000 κλίμακας χάρτη. Το ίδιο ισχύει για τον λιθολογικό σχηματισμό του φλύσχη, (κωδικός 6 του γεωλογικού χάρτη) στο ανατολικό τμήμα του χάρτη. Στη περιοχή υπάρχει εναλλαγή σχηματισμών φλύσχη



ΣΧΗΜΑ 3. Πανγχρωματική εικόνα του Landsat 7 συστήματος. Έχουν σχεδιαστεί τα τεκτονικά στοιχεία του 1:50,000 κλίμακας γεωλογικού χάρτη (διακεκομένες γραμμές), τα αντίστοιχα του 1:25,000 (άσπρες γραμμές με διαφορετικά μοτίβα) και τα γεωλογικά γραμμικά στοιχεία των δορυφορικών εικόνων (μαύρες λεπτές γραμμές).
FIGURE 2. The figure shows the panchromatic image of Landsat 7 satellite system. On the image different linear features have been plotted like the tectonic elements of the 1:50000-scale map (dashed lines), and those of the 1:25,000 scale map (white lines with different patterns), along with interpreted on the satellite images lineaments.

και κροκαλοπαγών, που αποδίδεται ικανοποιητικά στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Επίσης υπάρχουν διαφοροποιήσεις οι οποίες οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης που δημιουργεί σκιές, οι οποίες κωδικοποιούνται πολλές φορές σε διαφορετική τάξη εξ'αιτίας της χαρακτηριστικής φασματικής απόκρισης τους. Ο ερμηνευτής θα πρέπει χρησιμοποιώντας τα εργαλεία του ΓΣΠ συστήματος να δώσει την σωστή κωδικοποίηση /ερμηνεία των πολυγώνων αυτών. Τα μάρμαρα (κωδικός 13) έχουν αποδοθεί ικανοποιητικά, αλλά χαρτογραφούνται και διαφοροποιήσεις. Το ίδιο ισχύει για τους υπόλοιπους τύπους των πετρωμάτων. Η Κάλυψη Γης / βλάστηση σχετίζεται για την πιλοτική περιοχή μελέτης, με διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων όπως των οφιολίθων, σχιστολίθων και της κλαστικής σειράς. Αποτέλεσμα αυτού είναι πολλές φορές η σύγχυση μεταξύ των τάξεων των διαφόρων πετρωμάτων. Τέλος υπάρχουν τμήματα του χάρτη, τα οποία θεωρούνται σαν «Μη ταξινομημένα» αφού δεν υπάρχει η δυνατότητα ένταξης τους σε μια από τις καθορισμένες κατηγορίες. Γενικά το αποτέλεσμα της εφαρμογής τεχνικών ταξινόμησης σε συνδυασμό μ' αυτές του πεδίου των ΓΣΠ δίδει την δυνατότητα οριοθέτησης περιοχών που συνδυάζονται με όρια λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων. Η εφαρμογή των συνδυαστικών τεχνικών δίδει την δυνατότητα μείωσης του χρόνου ερμηνείας / σχεδιασμού των ορίων διαφορετικών πετρωμάτων, ενώ παράλληλα αξιοποιείται όλη η φασματική πληροφορία των διαφορετικών δορυφορικών εικόνων.



ρικών εικόνων.

ΣΧΗΜΑ 4. Τα όρια (μαύρες γραμμές)του γεωλογικού χάρτη κλίμακας 1:25,000, έχουν σχεδιαστεί στην χαρτογραφική απόδοση του αποτελέσματος εφαρμογής των τεχνικών ταξινόμησης του Back-propagation και των κατάλληλων διανυσματικών τεχνικών του πεδίου των ΓΣΠ. Είναι ενδεικτικές οι διαφοροποιήσεις σε τμήματα των χαρτογραφημένων ορίων.

FIGURE 4. The lithological boundaries of the 1:25,000 scale map have been plotted on the cartographic layout which is the result of the application of classification / interpretation, along with the appropriate GIS techniques.

Different results are obtained after the analysis of the satellite images.

5.ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το Landsat 7 σύστημα προσφέρει κάλυψη ενιαίων περιοχών με βελτιωμένη γεωμετρία, σε σχέση με τους προηγούμενους δορυφόρους της σειράς αυτής. Η μίξη με το Παγχρωματικό δίδει βελτιωμένο τρόπο ερμηνείας σε σχέση με τα γεωλογικά στοιχεία της εικόνας. Ο συνδυασμός δεδομένων των Landsat και SPOT δορυφορικών συστημάτων δίδει εικόνες βελτιωμένης ευκρίνειας, αλλά η εφαρμογή των τεχνικών είναι χρονοβόρα, ενώ το κόστος υψηλότερο. Και στις δύο περιπτώσεις εφαρμογής των τεχνικών μίξης υπάρχει βελτίωση σε σχέση με την κλίμακα χαρτογράφησης και τη χωρική διακριτική ικανότητα με μικρό κόστος και άμεση αξιοποίηση από το σύστημα επεξεργασίας, αλλά είναι ενδεικτική η πολυπλοκότητα ως προς τη διαδικασία ερμηνείας / τελικής ενημέρωσης του χάρτη.

Τα ίχνη των γεωλογικών στοιχείων έχουν χαρτογραφηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια στις δορυφορικές εικόνες από ότι στους κλίμακας 1:50,000 γεωλογικούς χάρτες, όπως υποδεικνύεται από την σύγκριση με τον νεώτε-

ρο 1:25,000 κλίμακα χάρτη. Αυτό επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η πληροφορία των δορυφορικών εικόνων μπορεί να συμβάλει σε ενημέρωση χαρτών σε κλίμακες έως 1 : 25,000. Οπωσδήποτε, απαραίτητη είναι η επιβεβαίωση όλων των στοιχείων στο ύπαιθρο. Ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων της ερμηνείας με τα ψηφιακά διανυσματικά στοιχεία δίδει τη δυνατότητα ενημέρωσης των χαρτών. Βασική προϋπόθεση για μία ολοκληρωμένη εφαρμογή στο πεδίο της γεωλογικής / περιβαλλοντικής έρευνας είναι η εφαρμογή συστηματικής μεθοδολογίας κατά την ερμηνεία των γεωλογικών στοιχείων.

Ο χρόνος που απαιτείται για την οριοθέτηση της γενικής γεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης και τον εντοπισμό θέσεων λιθολογικών διαφοροποιήσεων, το συνδυασμό με άλλα στοιχεία και τη τελική ενημέρωση των χαρτών είναι ελάχιστος σε σχέση με αυτόν που απαιτείται με την εφαρμογή κλασικών μεθόδων ανάλυσης ή ακόμη και μετά τη χρήση δύο (ή περισσοτέρων) διαφορετικών πακέτων λογισμικού ψηφιακής ανάλυσης για την επεξεργασία των δεδομένων της τηλεπισκόπησης και των χαρτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BRUNN, J. H. 1982. Geological map of Greece: Pirgoi Sheet Scale 1:50,000. The geologic mapping has been carried out by Professor J. H. Brunn of the Orsay University, France. Published by IGME 1982.

KANELLOPOULOS, I., WILKINSON, G., & CHIUDERI, A. 1994. Land cover mapping using combined Landsat TM imagery and textural reatures from ERS-1 Synthetic Aperture Radar Imagery, Image and Signal Processing for Remote Sensing, Jaccky Desachy, *Proc. SPIE* 2315, 332-341.

KEY J., MASLANIC A., & SCHWEIGER A. J., 1989. Classification of merged AVHRR and SMMR arctic data with neural network, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, no.9, 1331-1338.

PHOTIADES, A., SKOURTSIS – CORONEOU, V. & GRIGORIS P. 1998. The stratigraphic and paleogeographic evolution of the Eastern Pelagonian margin during the late Jurassic-Cretaceous interval (Western Vermion Mountain – western Macedonia, Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece* Vol. XXXII/1, 71-77.

ΦΩΤΙΑΔΗΣ, Α. & ΓΡΗΓΟΡΗΣ, Π. 1997-1999. Γεωλογική χαρτογράφηση του ΝΔ/κού τμήματος του Φ.Χ. "Πύργοι", κλίμακας 1:25,000. (Ο χάρτης διατίθεται μόνο για εσωτερική χρήση στο ΙΓΜΕ).

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2033-2038, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2033-2038, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

COMPUTER TECHNIQUES FOR IMAGING EARTHQUAKE DEFORMATION USING SATELLITE DATA AND DIGITAL ELEVATION MODELS.

A. GANAS[1], E. LAGIOS[2], G. STAVRAKAKIS[1]

ABSTRACT

Earthquake deformation comprises both instantaneous, co-seismic strain and cumulative deformation over several earthquake cycles. Co-seismic deformation following events greater than 6-6.5 Ms is mapped using differential interferometry and possibly images from the new generation, very-high spatial resolution sensors. Cumulative deformation is mapped using photo/image-interpretation techniques on enhanced satellite data, both optical and radar. If strain markers can be identified on satellite imagery such as displaced channels, then some of the kinematics of deformation (slip direction, amount) can be extracted. Remote sensing can also provide conclusive evidence towards identifying the surface expression of seismogenic structures during events between 5.5 and 6 Ms.

KEY WORDS: EARTHQUAKES, SAR INTERFEROMETRY, REMOTE SENSING, DEM, ATTICA.

INTRODUCTION

The use of spaceborne images in active fault mapping is a well-established technique because they provide digital views of the earth's surface (Armijo et al., 1986; 1999; Ganas et al., 1998, 2001; Figure 1). These images are two-dimensional, digital recordings of the Earth-leaving radiance ($W/m^2 \cdot sr^{-1}$) from satellites orbiting the planet at distances between 400 and 900 km. The "system" of observation is well established, with both the illuminating source (sun) and orbital height being stable and sensor performance relatively stable over time. A popular use of optical Earth-Observation (EO) data is to map long-term neotectonic deformation (hundreds up to several millions of years). For example, Landsat TM data processing has been an effective tool for recognising large landforms (alluvial fans, transverse bedrock ridges, "wine-glass" valleys) indicative of neotectonic faulting (Figure 1). The recognition of these features is based on their geometry (e.g. arcuate shape for fans, axial drainage for rivers). In all cases, mapping follows data import, geometric and radiometric corrections, image enhancements, high-pass filtering, and other digital procedures (see Mather, 1987, pages 112-275).

The second important parameter in mapping ground deformation is relief. Topography has been modeled as a proxy for fault displacement (Anders and Schlische, 1994). Digital Elevation Models (DEMs) are raster analogs of topography originating mainly from photogrammetry (at visible wavelengths) and radargrammetry (airborne-spaceborne C-band data). During the 1990's across-track, monochromatic data such as SPOT 1A, ERS Precision PRI, ERS Single Look Complex SLCi and RADARSAT fine beam data were used to extract relatively accurate (10-20 m z-RMSe; Giles and Franklin, 1996; Krupnik, A., 2000) DEMs after applying automated stereomatching procedures. The DEMs are mainly used in mapping fault segment boundaries within rift systems because the latter are assumed to coincide with low footwall elevations, and in 2-pass, interferometric SAR processing studies to subtract the topographic phase. Since early 2000 the availability of IKONOS type data imply that depending on the quality of the exterior orientation, difference DEMs could be computed to yield a large (^{3} 7 Ms) earthquake deformation map. The IKONOS DEMs accuracy varies between 1-3 metres, however, this is still under investigation due to orbital data restrictions from the US company that operates the satellite.

METHODS FOR EARTHQUAKE DEFORMATION IMAGING

Optical data

A useful method to visualize a seismogenic fault is to apply digital processing techniques to obtain either

1. Geodynamics Institute, National Observatory of Athens, PO BOX 20048, Athens 118 10, Greece. E-mail: aganas@gein.noa.gr
2. Department of Geophysics, University of Athens, 157 84 Athens, Greece.

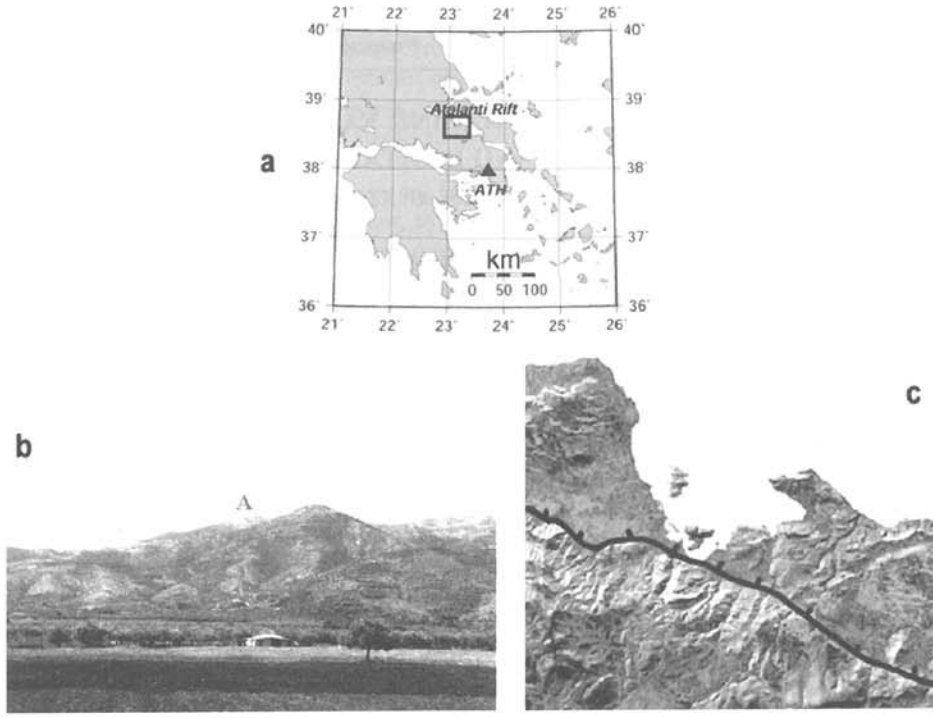


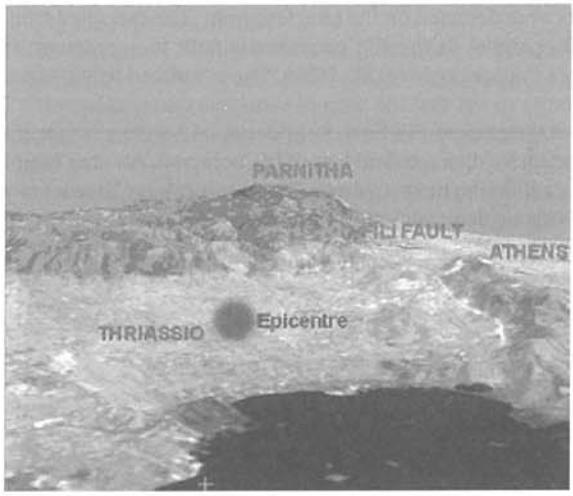
Figure 1. Images of the active Atalanti fault segment, central Greece after Ganas et al., (1998). a): Location map b) Field photograph normal to strike (look to southwest) showing wine-glass valleys terminating abruptly at the fault line c) Landsat 4 TM satellite image of January 1988, band 5 (mid-infrared). The fault runs diagonally NW-SE. The image look-up-table has been inverted to show geological structure more clearly (shadowed areas are shown as bright). Point A is the top of Chlomon Mountain (1079 m).

nadir or oblique, panoramic views of the greater area it deforms. The views help to

1. Map the extent of the structure and measure its length (Figure 1). This is helpful to estimate various seismic parameters, such rupture length and associated maximum magnitude etc
2. Estimate cumulative offset along strike by identifying displaced ridges. This is used to estimate horizontal strain and amount of extension by assuming a fixed angle of slip
3. To identify cross faults and
4. To study the long-term evolution of landforms in the meisoseismal area of a large earthquake. This can be done by calculating geomorphic ratios, such as sinuosity indices, valley widths to valley lengths ratios etc.

In nadir views of satellite data shaded relief images can be produced by choosing various illumination conditions to examine the landform pattern. The long-term evolution is assumed to result from accumulated coseismic motions (uplift-subsidence) and erosion due to climatic variations. An example is given in the shaded relief image of Figure 2b, that simulates a low sun angle (zenith=75°), southeastern viewing direction (140° N) of the western Attica region in Greece. This image is effectively a DEM of cartographic origin (HAGS, 1992) that can be used as a raster background to overlay vector files like the shallow aftershock sequence of the 7/9/1999 Ms 5.9 earthquake (Pavlides et al., 1999; Papadopoulos et al., 2000). A southeastern illumination accentuates topography better because in central Greece the predominant extension direction is north south Clarke et al., 1998). The same image can also host damage information after the collection of field observations and other macroseismic data (Ganas et al., 2001).

Oblique views are constructed to visualize the pattern of regional structures (Figure 2a) in the vicinity of the epicentre of an earthquake. Here a technique called "draping" is applied, where a colour composite, satellite image of comparable pixel size to a pre-existing DEM is overlain. The resulting file can be rotated to a variety of viewing directions to enable the geologist to make better observations of the fault pattern. An exaggeration of the topography is necessary to distinguish fault segmentation associated with slip deficits and low relief. In the



a

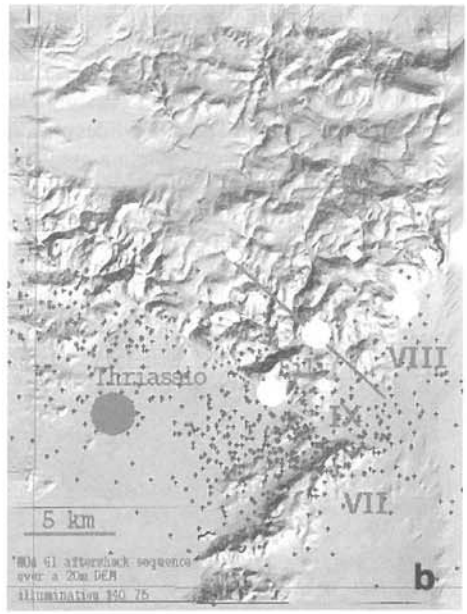


Figure 2a) Perspective view (towards northeast at 35° above the horizon) of western Attica, Greece. The image was constructed using computer vision techniques, TM imagery (741 RGB) and a 20-m DEM. Dark gray line is the trace of the Fili normal fault that moved during the 7/9/1999 earthquake. Vertical exaggeration x 3. 2b) Shaded relief image of a Digital Elevation model of the meisoseismal area simulating orientation of topography with respect to an illumination source (SE-140; zenith angle of 75 degrees). Light gray line is the Thriassion normal fault; gray line is the Fili normal fault. Crosses are aftershock epicentres; Gray circle is the relocated NOAGI epicentre of the main shock of Sept. 7, 1999. Map shows also the distribution of rock falls (white circles). Roman capital letters indicate the earthquake intensity.

case of Figure 2a fault segment boundaries may be identified on both ends of the Thriassion normal fault segment, and on the eastern end of the Fili normal fault segment in Attica, Greece. A vector layer, the trace of the Fili fault (dark gray line), is also superimposed to show the exact location of the seismogenic structure. To accurately register DEMs and Landsat, SPOT, or ASTER satellite data we need suitable grid spacing of the order of 10-to-20-m. The most accurate DEMs are produced by on-screen digitising of elevation contours of the 1:50,000 map sheets (contour interval 20 m). The degree of co-registration needs to be better than one pixel of the satellite image.

Radar data

The Interferometry technique (InSAR) was applied to study the earthquake behaviour of active faults in various parts of the world including Greece (Massonnet et al., 1993; Meyer et al., 1996; Wright et al., 1999, Kontoes et al., 2000, see Figure 3). This mapping capability is possible on regional and even global scales using specialized, radar processing software. Digital Elevation Models (DEMs) may be also created with height accuracies on the order of 5-20 metres. Detailed analysis of the phase part of the signal along the line of sight can determine the surface displacement that has occurred between successive orbits of the satellite, even when the orbits are years apart. However, the technique works much better in flat and dry areas because of constraints in the imaging geometry (the ERS satellite has a high incidence angle, 23°) and the climatic influence on phase coherence since wet climatic conditions cause quick, temporal decorrelation of the phase returns.

In this study we used the ATLANTIS software for Windows NT (version 1.2.1) where the 2-pass digital processing procedure (Figure 3) involves a) resampling of the 20-m, external DEM to the master SAR image (orbit 23136 – 23 September 1999), b) distortion of the re-sampled DEM creating foreshortening and layover distortions c) fine, interactive co-registration of the DEM to the master SAR image using more than 20 tie points with residuals less than a pixel d) calculation and subtraction of the topographic phase from the

interferogram. The phase unwrapping is done by the use of the iterative disk-masking algorithm with controlled error propagation and error correction. The algorithm uses multiple tiling and seeding techniques. Neither remaining topographic phase nor atmospheric effects were detected on the interferogram. The extracted fringes show an N110-N120 axis of the deformation ellipse, parallel to the Fili neotectonic fault in agreement with geological and seismological data (Pavlides et al., 1999, Papadopoulos et al., 2000). The calculated height-change map (the vertical component of the line-of-sight vector) shows that the area of subsidence ranges between 2-7 cm with the maximum observed in the greater area of the ancient Fili Fort. Subsidence of 2-4 cm also occurred in the Ano Liossia Area of the Athens basin where extensive damages and loss of life occurred. An area of uplift at the bottom centre is so marginal (3-8 mm) that lies within the limits of error. These results may have a unique value because no GPS data exist to measure the co-seismic deformation of the Athens earthquake.

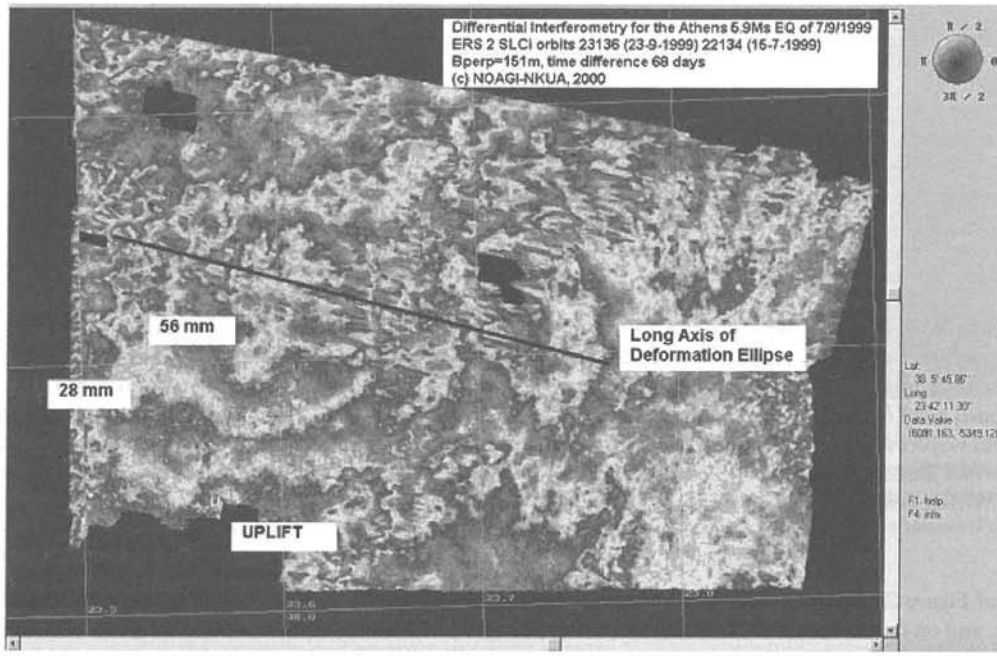


Figure 3. Image showing the interferogram of the Athens earthquake from the phase difference of two ERS 2 satellite images. Time difference is 68 days and the perpendicular baseline between the two orbits is 151 metres. An external digital elevation model with 20-m resolution was used to subtract pre-existing topography. Two elliptical fringes can be distinguished; the internal one labeled 56 mm, while the external 28 mm. Figures are amounts of subsidence. Black patches are areas of low coherence.

DISCUSSION-CONCLUSIONS

Earth Observation data is another tool for the geologist/geophysicist to observe, map, display and understand the deformation pattern following large earthquakes. In particular, surface ruptures, fault scarps, landslides and ground shaking phenomena (liquefaction, slumping) following events > 7 Ms can be mapped from space using SAR Interferograms or panchromatic data from the IKONOS-2 (1 m pixel size) – IRS 1C/D (5.8 m) and SPOT-4 (10 m) satellite series. These images can be georeferenced to national grids with sub-pixel accuracy using mobile GPS networks. The mapping of surface ruptures on such large scales can supply spatial information on previously undetected active faults or small branches of large, active faults and on fault segmentation patterns if long (> 30 km) active faults have not ruptured during the last thousand years. In addition, differential Interferometry can provide 1:50000 scale maps of the full, coseismic deformation field for events exceeding 5.8 Ms.

Furthermore, remote sensing can provide conclusive evidence towards identifying the surface expression of seismogenic structures during events in the range 5.5 to 6 Ms. Because of the limited appearance or even non-existence of primary effects of the earthquake (e.g., surface ruptures) during many of the above events, data

spatial resolution and sun angle are the dominant factors that influence mapping quality.

The proposed method is:

1. The extraction of linear features (candidate structures) after digital processing of high resolution (Landsat TM/ETM+, SPOT Pan/XS/XI – IKONOS) images (Figure 1),
2. The application of digital overlays of field observations and aftershock distribution patterns on either enhanced satellite images or shaded relief images (Figure 2) to study the spatial distribution of these datasets, and
3. Comparison of the imaged faults with fault plane solutions from instrumental data and dominant slip direction in fault striation populations (e.g. Ganas et al., 2001).

This methodology can be effective even in cases where the candidate structures are spaced less than 10 km apart.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Tim Wright, Xaris Kontoes, Spyros Pavlides, Gerassimos Papadopoulos, Gerald Roberts, Kevin White, Martha Stefouli, Isaak Parcharidis, Pepi Vasilopoulou, Vassilis Sakkas, Vassilis Karastathis and the ATLANTIS support team for discussions and comments. Spyros Pavlides reviewed an earlier version of the manuscript. IIS SA provided TM images and the EASI PACE software for the production of Figure 2. This work was partially funded by the GEOWARN project (IST 1999-12310).

REFERENCES

ANDERS, M. H., AND SCHLISCHE, R. W., 1994. Overlapping faults, intrabasin highs, and the growth of normal faults. *Journal of Geology*, 102, 165-180.

ARMIJO, R., TAPPONIER, P., MERCIER, J. L., AND TONG-LIN, H., 1986. Late Cenozoic right-lateral strike-slip faulting in southern Tibet: Field observations and tectonic implications. *Journal of Geophysical Research*, 91(B14), 13803-13872.

ARMIJO, R., MEYER, B., HUBERT, A., AND BARKA, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: timing and kinematics. *Geology*, 27(3), 267-270.

CLARKE, P. J., DAVIES, R. R., ENGLAND, P. C., PARSONS, B., BILLIRIS, H., PARADISSIS, D., VEIS, G., CROSS, P. A., DENYS, P. H., ASHKENAZI, V., BINGLEY, R., KAHLE, H. G., MULLER, M. V., AND BRIOLE, P., 1998. Crustal strain in central Greece from repeated GPS measurements in the interval 1989-1997. *Geophysical Journal International*, 135, 195-214.

GANAS, A., PAPADOPOULOS, G., AND PAVLIDES, S. B., 2001. The 7th September 1999 Athens 5.9 Ms earthquake: remote sensing and digital elevation model inputs towards identifying the seismic fault. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (1), 191-196.

GANAS, A., ROBERTS, G. P., AND MEMOU, TZ. 1998. Segment boundaries, the 1894 ruptures and strain patterns along the Atalanti Fault, Central Greece. *Journal of Geodynamics*, 26(2-4), 461 - 486.

GILES, P. T., AND FRANKLIN, S. E., 1996. Comparison of derivative topographic surfaces of a DEM generated from stereoscopic SPOT images with field measurements. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(10), 1165 - 1171.

HELLENIC ARMY GEOGRAPHICAL SERVICE, 1992. Map Sheet "Elefsis".

KONTOES, C., ELIAS, P., SYKIOTI, O., BRIOLE, P., AND REMY, D., 2000. Displacement field and fault model for the September 7, 1999 Athens earthquake inferred from ERS2 satellite radar interferometry. Geophysical Research Letters, 27, 24, p. 3989.

KRUPNIK, A., 2000. Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from SPOT images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(8), 1017-1023.

MASSONNET, D., ROSSI, M., CARMONA, C., ADRAGNA, F., PELTZER, G., FEIGL, K., AND RABAUTE, T., 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 364, 138-142.

MATHER, P. M., 1987. Computer Processing of Remotely Sensed Images: An introduction. John Wiley & Sons, 352p.

MEYER, B., ARMIJO, R., MASSONNET, D., DE CHABALIER, J. B., DELACOURT, C., RUEGG, J. C., ACHACHE, J., BRIOLE, P., AND PAPANASTASIOU, D., 1996. The 1995 Grevena (northern Greece) earthquake: fault model constrained with tectonic observations and SAR interferometry. *Geophysical Research*

Letters, 23, 2677-2680.

PAPADOPOULOS, G. A., DRAKATOS, G., PAPANASTASSIOU, D., KALOGERAS, I., STAVRAKAKIS, G., 2000, Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 September 1999 in Athens, Greece. *Seismological Research Letters*, 71, 318-329.

PAVLIDES, S., PAPADOPOULOS, G. A., AND GANAS, A., 1999. The 7th September 1999 unexpected earthquake of Athens: Preliminary results on the seismotectonic environment, 1st Conf. Advances in Natural Hazards Mitigation: Experiences from Europe and Japan, Programme-Abstracts-Reports, Athens, 3-4 November 1999, 80-85.

WRIGHT, T. J., PARSONS, B. E., JACKSON J. A., HAYNES, M., FIELDING, E. J., ENGLAND, P. C., AND CLARKE, P. J., 1999. Source parameters of the 1 October 1995 Dinar (Turkey) earthquake from SAR Interferometry and seismic bodywave modeling. *Earth and Planetary Science Letters,* 172(1-2), 23-37

ZEBKER, H. A., AND GOLDSTEIN, R. M., 1986. Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations. *Journal of Geophysical Research,* 91, 4993-4999.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2039-2046, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2039-2046, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

MONITORING OF COASTLINE CHANGES USING MULTITEMPORAL SATELLITE DATA: THE CASE OF MESSOLOGI LAGOON SYSTEM AND ACHELOOS-EVINOS DELTAS (W. GREECE)

I. GATSIS[1], IS. PARCHARIDIS[2], K. SERELIS[1]

ABSTRACT

The broader area of Messologi ecosystem located along the southern coast of Etoloakarnania prefecture, is of great ecological interest. Through time, the area has suffered important changes due to anthropogenic interventions that have partly altered the initial natural parameters. The aim of this paper was the multitemporal monitoring of the coastline changes in the area of Messologi lagoon and the estuaries of Acheloos and Evinos, during the span of 1984-1999, using Landsat TM and ETM data. Two different techniques were used in order to detect the probable changes, the band ratioing technique and the Principal Component Analysis. Zones of accretion and erosion were recognized and the two techniques were evaluated.

KEY WORDS: Remote sensing, multitemporal data, coastline changes, erosion, accretion, Band ratioing, PCA, Messologi ecosystems.

1. INTRODUCTION

Coastal zones are areas of major economic and social importance worldwide. In these zones there is intense, diverse activity with consequential environmental impact from fishing, fish farming, industry of all types, release of sewage, pollution by trace metals and organic compounds, eutrophication by terrestrial fertilizers and tourism (Cracknell 1999, Doerffer et al. 1999). Very dynamic coastlines, such as delta and lagoon coast, pose considerable hazards to human use and development, and rapid, replicable techniques are required to update coastline maps of these areas.

Large area remote sensing from satellites provides a unique tool for environmental research and monitoring of coastal areas and deltaic environments (Pramanik et al. 1987, Ciavola et al. 1999, Yang et al. 1999). Moreover, in many parts of the world, the mapping of the coastline using multitemporal satellite data is an important task because existing maps are often not accurate and updated; this is either because the area was only poorly mapped in the first place or because the coastline has been changing (Frihy et al. 1994, Ulbricht & Heckendorff 1998, White & El Asmar 1999).

The study area is a very sensitive and ecologically unstable ecosystem protected by the Ramsar Convention, and composes a hospitality and propagation area for many kinds of the animal kingdom (Karathanasi et al. 1997). The whole area shows complex aspects, both in its morphology and in its environmental dynamic processes.

Through time, the area of lagoon has suffered important changes due to anthropogenic interventions that have partly altered the initial natural parameters, such as sedimentation, flora, fauna, etc. The anthropogenic impact on the lagoon is due to the urban expansion mainly of Messologi and Etoliko towns, the salt industry, the kind and extension of crops (intensive cultivation), the fisheries of the lagoon and the animal production facilities on the surrounding lands (Parcharidis et al. 1999). As a result of the above-mentioned activities and interventions, changes are observed on the chemistry of the lagoon water and the land/sea distribution (erosion and deposition of the sediments). These changes affect dramatically the existing natural biotopes, reducing their extension and inducing a further decrease in the stability of this environment (Bonazountas et al. 1993).

The above reasons provoked the demarcation of this specific study area, investigating the potential offered by the satellite data for the observation and detection of the anthropogenic and natural changes, and simultaneously examining these changes in an ecologically sensitive area.

The aim of this paper was the multitemporal monitoring of the coastline changes in the broader area of

1. Agricultural University of Athens, Mineralogy-Geology Lab., Iera Odos 75, 118 55, Athens, jgatsis@aua.gr
2. Univ. of Athens, Faculty of Geology. Dep. of Geophysics-Geothermics, Space Application Research Unit, Panepistimioupolis - Ilissia, 157 84, Athens, e-mail: parchar@geol.uoa.gr

Messologi lagoon and the estuaries of Acheloos and Evinos, during the span of 1984-1999, using Landsat TM data. The combined study and the appropriate processing of the satellite images have accentuated the natural and anthropogenic changes occurring during the last 15 years. Finally, the followed methodology in the present study could be characterized as a useful tool for environmental planning and management.

2. DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

The study area is located at the southwestern extremity of mainland Greece and specifically in the SW part of Etoloakarnania prefecture (Fig. 1). It composes of the Messologi, Etoliko and Klisova lagoons, the estuaries of Acheloos and Evinos, the old lake Meliti and the Platigialio bay. The climate is temperate while the mean annual precipitation, in the area of Etoliko-Messologi lagoons, reaches 786mm.

The area is composed mainly by Ioanian zone rocks and at a lesser extent of Olonos-Pindos and Gavrovo zones (Fleury 1977, Doutsos et al. 1987), such as Pre-Alpine Triassic breccias to the west, alpine Paleocene-Eocene limestone and Oligocene flysch to the east. The post-alpine formations consist of Pliocene sediments located mainly in the semi-mountainous areas, and of Quaternary formations in the lowlands (Kouris & Tsaila-Monopoli 1989, Mettos et al. 1991, Kouris et al. 1996).

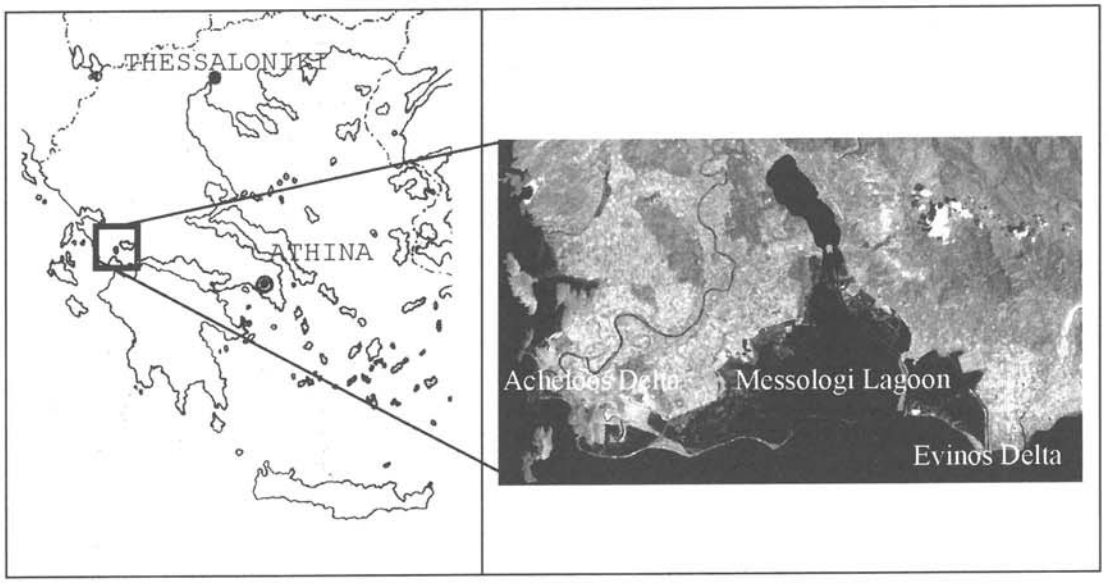


Figure 1. Location of the study area

The genesis of the broader of the lagoons is due to normal faults, with NNW-SSE general direction, that followed the tectonic compression in the beginning of Quaternary (Vasilakis 1998). Thus, the plain and multifarious coastal area was filled with the fluvial sediments of Acheloos and Evinos rivers, after the creation of grabens, during Miocene and Pliocene periods (Psilovikos 1993). Moreover, these sediments were carried by the coastal currents and created the sandy islets, which compose a peculiar and very significant landform in the outer part of the lagoons (Leontaris 1970). The Acheloos estuary present form as well as the accretion action relate with the recent period of its paleogeographical evolution. This action contributed to the fast exposition of the land during the last Holocene period.

The Messologi lagoon has a maximum length of 27 km and a maximum width of 15 km. It is divided from Patraikos gulf with a series of sandbars, of 80cm height, being extended in almost 12 km length, upon which the facilities of fish farming have been constructed (Karathanasi et al. 1997). These sandy islets cover a variable area, proportionally to the seasons, playing a significant role of a physical breakwater and protecting the shallow lagoon from the erosive action of the waves, provoked by the dominated SE winds. The maximum depth of Messologi lagoon reaches 1.8-2.0 m while the mean depth reaches 80 cm. On the contrary, Etoliko lagoon is deeper with maximum depth 30 m. These two lagoons communicate through the shallow Etoliko straight, in

some places the depth reaches 30 cm, a fact that impedes the water circulation between them (Bonazountas et al. 1993).

The plain area dominates, with few exceptions such as Arakinthos mountain (910m.) and some other hills dispersed in the area, and is occupied mostly by crops such as maize, cotton, rice and tobacco.

The Messologi-Etoliko lagoon area has decreased to 150 km^2 due to the reclamation of its lands attributed for agriculture and the salt-industry. The various works such as dams, flood controls, irrigation and drainage works, etc., form a clear anthropogenic environment with many changes, the more serious of which are the coastal erosion, the sea intrusion in Acheloos-Evinos deltas and the cease of land expansion (Marinos et al. 1994, Psilovikos 1994).

Evinos river has formed a remarkable delta with intermittent inundated mudflats composing a significant feeding area for hundred kinds of birds that migrate or/and hibernate. It must be stressed that this fluvial ecosystem will change after the operation of Ag. Georgios dam. On the other hand, the fluvial ecosystem of Acheloos has downgraded considerably because the river flow is under human control, the riparian vegetation has deforested in a great extent and today is restricted along the river banks while the amount of the carried load of sediments has decreased significantly, due to the dams construction along its river bed and the utility of water for irrigation purposes.

The river estuaries provoked, in the past, strong currents flowing parallel to the islets direction. This phenomenon had as a result their continuous supply and reinforcement with new sediments. Today, the substantial decrease of the water flow, due to the diversion of the two rivers, has induced the reduction of the current strength resulting in the wave erosion of the islets.

3. ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE STUDY AREA

Environmental vulnerability is the potential for attributes of a system to be damaged and/or destabilized mainly due to exogenous impacts. It is a crucial parameter in sensitive environments such as the study area.

A significant number of risks could affect the broader area of Messologi. These are the following:

a) Meteo events (draughts, floods)
b) Geological events (coastal processes)
c) Anthropogenic events (pollution, solid wastes, urbanization, etc.)

4. DATA AND THEIR PROCESSING

Essentially, change detection involves the ability to quantify temporal effects using multitemporal data sets. It is one of the major applications of remotely sensed data obtained from Earth Orbiting Satellites because of the repetitive coverage at short intervals and consistent image quality (Singh 1989, Frihy et al. 1998).

The main objective of this study is to determine whether relatively short-term (of the order of 15 years) coastline changes can be detected with relatively coarse spatial resolution (30m pixel size) satellite data. Landsat TM and ETM data were acquired covering the study area (path 184 row 033) for two dates (26/7/84 of Landsat 5, and 28/7/99 of Landsat 7). The geometric correction was based on the EGSA87 georeference system by selecting a set of 35 ground control points for each image, mainly along or near the shoreline, and a polynomial transformation of third order. The nearest neighbor resampling method has been used to create the output images with 30 m ground resolution. The root mean squares errors for the rectified and registered images were 0.66 and 0.38, respectively. The ERDAS v. 8.3.1 and ILWIS 2.23 software have been used for the image processing of the satellite image.

Two different techniques were used in order to detect the probable coastline changes:

a) The band ratioing technique (Cracknell and Hayes 1991, Sabins 1997). Ratioing is considered to be a relatively rapid means of identifying areas of change (Howarth and Wickmore 1981, El Raey et al. 1999). The same band of 1984 divided band 7 of 1999 image. Then, the ratio image was converted to log ratio scale for better presentation and interpretation (Fig. 2).
b) The Principal Component Analysis.

The principal components transformation is a statistic technique of many variables, which chooses non-correlated linear compositions (eigenvectors) of variables in such a way that each output principal component (linear composition) shows the minimum variance (Mather, 1991). These variables in the multispectral images are related to the spectral response of various surficial characteristics. One of the important features of PCA is that it produces totally uncorrelated images, thereby removing redundancy in the original data sets (Eklundh and Singh 1993, El Raey et al. 1999).

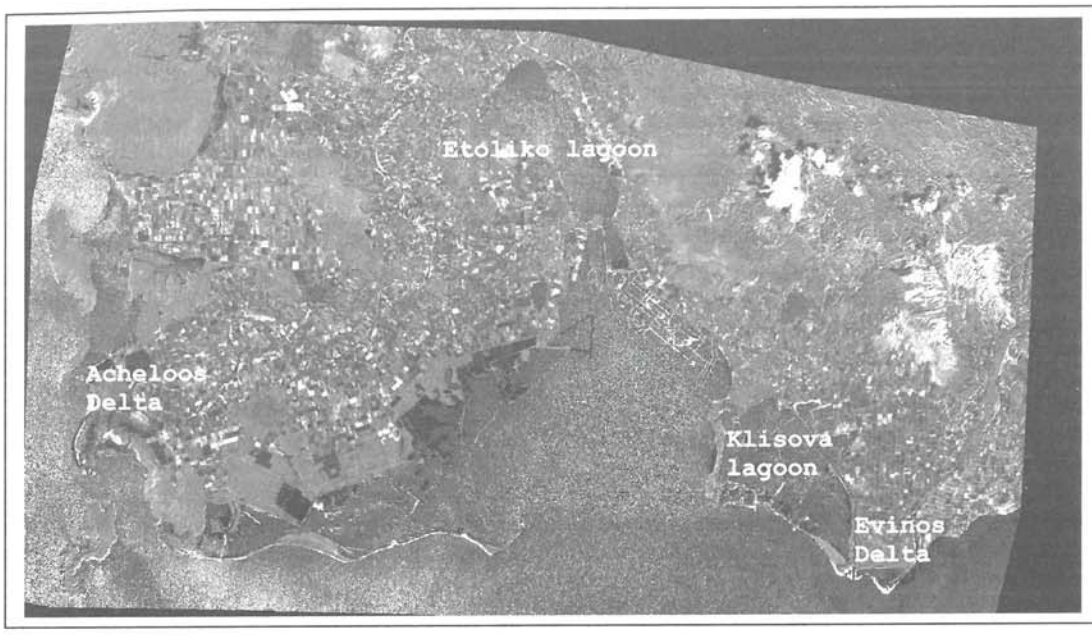


Figure 2. Image of the ratio ETM7_99/TM7_84.

In this study standardized PC transformations were carried out using 6 bands for each date (6 visible and reflected infrared bands). The analysis of eigenvalues and eigenvectors (Table 1) has revealed significant changes, in the broader coastal area of Messologi, along the coastline.

The first principal components, PC1 and PC2, do not show any changes, and PC4 to PC12 do not display features of significance. On the contrary, PC3 is the difference image between the two dates (Fig. 3), resulting from the negative load for all bands of the first date (1984) and the positive load for almost all bands of the second date (1999) with an exception for the negative contribution of TM4-99 which is very close to zero (Table 1).

The PC3 is found to be highly representative not only of the erosion and the accretion of the coastline but also to the construction or the removal of the human facilities, like the fisheries facilities, the new port, etc.

5. ANALYSIS OF THE PROCESSED DATA – CONCLUSIONS

In the two produced images, PC3 and ratio ETM7/TM7, the light gray-white areas designate accretion or some human interventions-constructions that did not exist in 1984 (urban areas, fisheries facilities, salt lakes, etc.) and the dark gray-black areas designate erosion or the removal of the human constructions.

The most significant changes resulting from the interpretation of the two images (Fig. 2, 3) are the following:

- Evinos estuary shows considerable changes, along the coastline, that are related to the erosion of the sediments and their transport and deposition to an adjacent place. The phenomenon of the erosion (black color) and accretion (white color) is due to the simultaneous action of the sea currents and the decreased river supply of sediments loads (Fig. 4).
- In Klisova lagoon the observed changes are related mainly with the removal of the human constructions (black color) (Fig. 4). Furthermore, the deposition of sediments in the outer side of Louros islet (west of Evinos estuary) is obvious (white color) and it seems to have a close relation with the above-mentioned sea currents action.
- In Messologi town significant changes along the coastline have not been observed, with an exception of the west part of it, where a small expansion has occurred (white color) (Fig. 3, point 1).
- Concerning the salt lakes among Messologi and Etoliko towns, there are some small changes related exclusively to the human interventions (new constructions-white color) and the seasonal situation of the salt lakes (the different spectral signatures are due to the unlike seasonal conditions, although the two images were acquired in the same period) (Fig. 3, point 2).

Table 1.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12
TM1_84	0,166	-0,311	**-0,334**	-0,268	0,327	-0,541	-0,166	-0,082	0,275	-0,391	0,125	-0,118
TM2_84	0,246	-0,197	**-0,334**	-0,191	-0,081	0,062	-0,361	0,111	0,158	0,582	-0,136	0,465
TM3_84	0,272	-0,242	**-0,334**	0,031	-0,132	0,360	-0,304	-0,224	-0,574	-0,146	0,054	-0,334
TM4_84	0,320	0,527	**-0,104**	-0,257	-0,587	-0,389	0,006	0,103	-0,108	-0,071	-0,098	-0,101
TM5_84	0,380	0,076	**-0,228**	0,359	-0,083	0,022	0,430	-0,496	0,206	0,086	0,384	0,185
TM7_84	0,326	-0,125	**-0,288**	0,323	0,127	0,066	0,402	0,608	0,015	-0,082	-0,342	-0,122
TM1_99	0,170	-0,304	**0,260**	-0,387	0,144	-0,240	0,482	-0,175	-0,480	0,211	-0,166	0,132
TM2_99	0,247	-0,177	**0,248**	-0,364	-0,124	0,279	0,117	0,096	0,413	0,254	0,221	-0,560
TM3_99	0,263	-0,246	**0,318**	-0,125	-0,293	0,297	-0,024	-0,007	0,183	-0,575	-0,149	0,439
TM4_99	0,301	0,551	**-0,013**	-0,325	0,581	0,329	-0,033	0,061	-0,079	-0,106	0,111	0,140
TM5_99	0,365	0,096	**0,349**	0,318	0,201	-0,142	-0,292	-0,346	0,143	0,115	-0,539	-0,211
TM7_99	0,320	-0,098	**0,408**	0,295	0,045	-0,256	-0,265	0,376	-0,232	0,066	0,536	0,103
% Variance	74,46	14,60	6,67	2,16	0,77	0,55	0,42	0,12	0,08	0,08	0,04	0,04
Eigenvalue	36463	7150,0	3265,0	1059,0	379,0	269,0	207,5	58,2	40,1	37,5	20,9	17,6

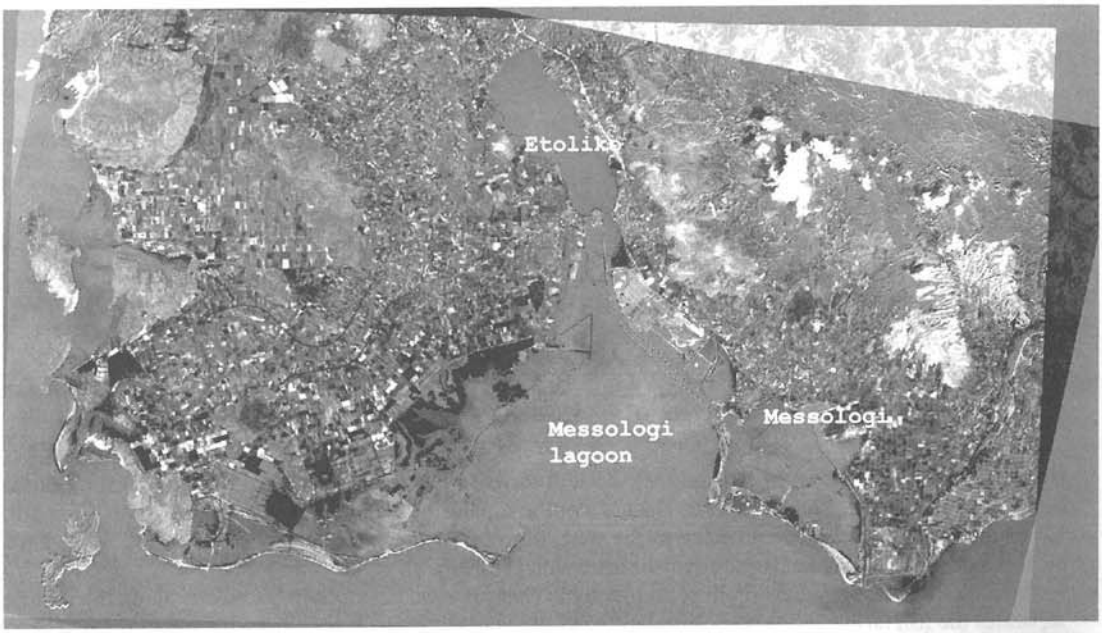


Figure 3. The Principal Component image 3.

- In the broader area of Etoliko town and its lagoon small changes have been observed along the coastline. The expansion of the urban shell is obvious mostly to the south and to the east of the town (white color). As far as it concerns the lagoon coastline there is no evident change. On the contrary, the new national road Antirrio-Ioannina is easily detected. Also, the removal of some constructions (black color - Fig. 3, point 3) is discriminated to the SSE of Etoliko.
- In the Messologi lagoon, there is a significant change in the existent situation of the salt lakes and the fisheries facilities, mostly in the northern-western part, where exposure of the seawater has been observed in extended areas (black color - Fig. 3, point 4 and 5). Concerning the islets, in the southern border of the

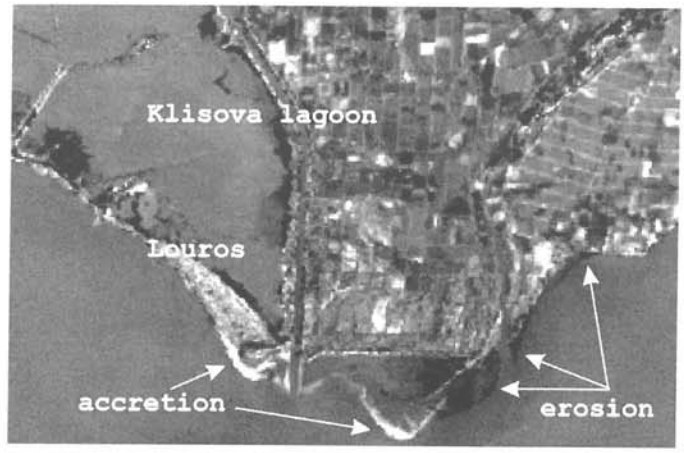


Figure 4. Subscene of PC3 image, representing the Evinos Delta. With black color the erosion and with white the accretion along the coast.

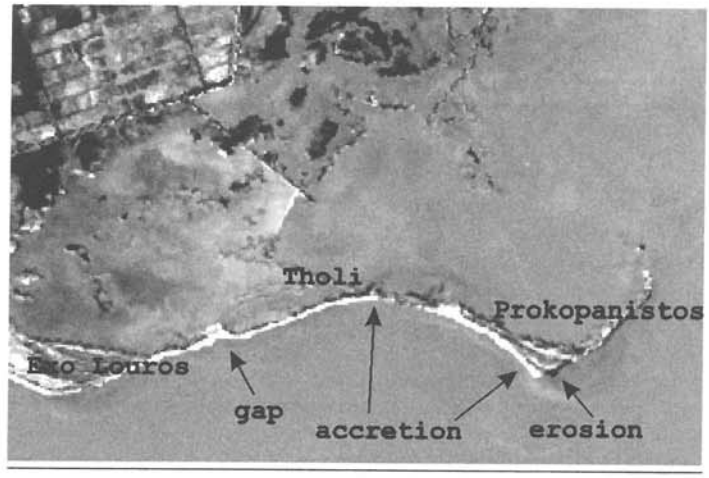


Figure 5. Subscene of PC3 image showing the accretion (white color) and the erosion (black color) along the islets in the southern Messologi lagoon.

lagoon (Exo Louros, Tholi, Prokopanistos), a width increase (accretion) has been detected in their outer side; the most characteristic and intense change is of Prokopanistos islet where a small part of it, to the south, has been eroded and deposited beside to the west. Moreover, some existed gaps between the islets, have been filled with new sediments (naturally or artificially) (Fig. 5).

- In the old estuary of Acheloos (Paliopotamos) some changes have been observed, mostly along the islet (it separates the fish farming area from Patraikos gulf) where new sediments have been deposited (white color) while in some other places the seawater covers the land (black color - Fig. 3, point 6). As regards to the present estuary of Acheloos, there is a significant differentiation that is not totally identified and detected from both techniques. The reduced river supply of carrying load of sediments has provoked some changes in the land distribution in the outlet of Acheloos estuary (Fig. 3, point 7). In the outer side of the land zone, to the west of the estuary, the coastline erosion is obvious (black color - Fig. 3, point 8). The small islands located exactly in the outlet of the estuary have changed in shape and distribution.
- Finally, the new port constructed in the last decade, without being yet in operational use, has significantly changed the coastline in Platigialio bay (Fig. 3, point 9).

The analysis and interpretation of the two different technique products shows spectral similarities. Although in some specific areas the two techniques complement each other, PCA technique seems to detect more clearly and accurately the coastline changes that occurred in the broader area of Messologi lagoon.

REFERENCES

BONAZOUNTAS, M., KALLIDROMITOU, F., PERGANTIS, F. et al. 1993. Integrated management of the Etoliko-Messolongi wetlands system, Prefecture of Etoloakarnania. Final Report. Contract No. ACE-2242/87/10-1, DG XI, Commission of the European Communities, Brussels. National Technical University, Department of Civil Engineering, Division of Water Resources Hydraulics and Maritime Engineering (in Greek).

CIAVOLA, P., MANTOVANI, F., SIMEONI, U., TESSARI, U. 1999. Relation between river dynamics and coastal changes in Albania : an assessment integrating satellite imagery with historical data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 20, No. 3, 561-584.

CRACKNELL, A.P., HAYES, L.W.B. 1991. Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis, p. 293, London.

CRACKNELL, A.P. 1999. Remote sensing techniques in estuaries and coastal zones – an update. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 20, No. 3, 485-496.

DOERFFER, R., SORENSEN, K., AIKEN, J. 1999. MERIS potential for coastal zone applications. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 20, No. 9, 1809-1818.

DOUTSOS, T., KONTOPOULOS, N., FRYDAS, D. 1987. Neotectonic evolution of northwestern-continental Greece. *Geologische Rundschau,* Vol. 76, No. 2, 433-450.

EKLUNDH, L., SINGH, A. 1993. A comparative analysis of standardized and unstandardized Principal Component Analysis in remote sensing. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 14, 1359-1370.

EL RAEY, M., SHARAF EL DIN, S.H., KHAFAGY, A.A., ABO ZED, A.I. 1999. Remote sensing of beach erosion/accretion patterns along Damietta-Port Said shoreline, Egypt. *Int. J. Remote Sensing,* Vol. 20, No. 6, 1087-1106.

FLEURY, J.J. 1977. De Lamia a Messolongi. La nappe du Pinde-Olonos et l Unite du Megdhovas. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 1, 53-66.

FRIHY, O.E., NASR, S.M., EL HATTAB, M.M., EL RAEY, M. 1994. Remote sensing of beach erosion along the Rosetta promontory, northwestern Nile delta, Egypt. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 15, 1649-1660.

FRIHY, O.E., DEWIDAR, KH.M., NASR, S.M., EL RAEY, M.M. 1998. Change detection of the northeastern Nile Delta of Egypt: shoreline changes, Spit evolution, margin changes of Manzala lagoon and its islands. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No. 10, 1901-1912.

HOWARTH, P.J., WICKMORE, G.M. 1981. Change detection in the Peace-Athabasca delta using digital Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 11, 9-25.

KARATHANASI, E., VAINALIS, D., KONSTANTOPOULOS, D., CHARISIS, N., KANELLOS, TH., SOTIROPOULOS, A., PERGANTIS, F. 1997. Special environmental research of Messologi-Etoliko wetlands. Facing program of the special environmental problems, the operation system and the management of the protected "Messologi-Etoliko wetlands" and the broader area. 1st phase. Ministry for the Environment, Physical Planning and Public Works (in Greek).

KOURIS, CH., TSAILA-MONOPOLI, ST. 1989. Geological map of Echinades (scale 1:50.000). IGME edition (in Greek).

KOURIS, CH., TSAILA-MONOPOLI, ST., SKOURTSI-KORONAIOU, V., SOLAKIOUS, N., CHORIANOPOULOU, P. 1996. Geological map of Messologi (scale 1:50.000). IGME edition (in Greek).

LEONTARIS, S. 1970. Geomorphological researches in the basin of the Etoloakarnania lakes. *Ann. Geol. Des Pays Hellen.*, 1e serie, Vol. XIX, 541-620 (in Greek).

MARINOS, P., KAVADAS, M., PERLEROS, V., ROZOS, D., NIKOLAOU, E., NIKOLAOU, N., CHATZINAKOS, I. 1994. Hydrogeological conditions of Acheloos delta with emphasis in the relations among the river and groundwater-wetlands. *Bullet. Geol. Soc. of Greece*, Vol. XXX/2, 373-383 (in Greek).

MATHER, M.P. 1991. Computer processing of remote sensing and image interpretation. J.Willy & Sons, Great Britain.

METTOS, A., KARFAKIS, I., SKOURTSI-KORONAIOU, B., TSAPRALIS, B. 1991. Geological map of Evinochorio (scale 1:50.000). IGME edition (in Greek).

PARCHARIDIS, IS., PAVLOPOULOS, A., SERELIS, K., TSINTZURAS, S. 1999. Man-made impact monitoring in Messolongi lagoon system using multitemporal ERS.SAR data. Procceedings of 6th International Conference on Environmental Science and Technology, Samos, 30/8-2/9/1999, Vol. B, 416-423.

PRAMANIK, M.A.H., ALI, A., QUADIR, D.A., RAHMAN, A., SHADID, M.A., HOSSAIN, M.D. 1987. Conference report on the Regional seminar on the application of remote sensing techniques to coastal zone management and environmental monitoring, Dhaka, Bangladesh, 18-26 November 1986. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 8, 650-673.

PSILOVIKOS, A. 1993. Geomorphological, stratigraphic and evolutionary data of the physical and anthropogenic delta of Acheloos. Ministry of National Economy, p. 41, Athens (in Greek).

PSILOVIKOS, A. 1994. The turn of the river and the deltaic system of Acheloos from natural to anthropogenic during the last 50 years. *Bullet. Geol. Soc. of Greece*, Vol. XXX/4, 29-35 (in Greek).

SABINS, F.F. 1997. Remote Sensing: Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Company, p. 494, New York.

SINGH, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely sensed data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, 989-1003.

ULBRICHT, K.A., HECKENDORFF, W.D. 1998. Satellite images for recognition of landscape and landuse changes. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,* Vol. 53, 235-243.

VASILAKIS, E. 1998. Neotectonic regime of the central Etoloakarnania. Master Thesis, Dep. of Geology, National and Kapodistrian Univ. of Athens (in Greek).

WHITE, K., EL ASMAR, H.M. 1999. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta. *Geomorphology,* Vol. 29, 93-105.

YANG, X., DAMEN, M.C.J., VAN ZUIDAM, R.A. 1999. Use of Thematic Mapper imagery with a geographic information system for geomorphologic mapping in a large deltaic lowland environment. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 20, No. 4, 659-681.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2047-2054, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2047-2054, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

EVALUATION OF REMOTE SENSING METHODS FOR THE DETECTION OF HYDROTHERMAL ALTERATION ZONES IN MILOS ISLAND (GREECE)

IS. PARCHARIDIS[1], E. GARTZOS[2], EM. PSOMIADIS[3]

ABSTRACT

Data of Landsat 5 Thematic Mapper have been processed and analysed in the present paper, in order to detect the alteration zones in Milos island. These altered zones are important because they are connected with the presence of industrial mineral deposits such as bentonite and kaolinite.

Two different processing and analysis methods of satellite data, Crosta technique and band ratioing, have been used aiming at the evaluation of the results of each technique separately and their comparison by taking into account the local conditions which affect significantly the final result. These two methods have been proved to be complementary.

KEY WORDS: Remote sensing, alteration zones, PCA, band ratios, spectral reflectance, Milos island.

1. INTRODUCTION

In general, the hydrothermal alteration of certain rock types leads to the formation of industrial and/or metallic mineral deposits. The case of Milos island is a characteristic example. Intense hydrothermal alteration of volcanic rocks on Milos resulted in the formation of exploitable industrial mineral deposits (bentonite and kaolinite). In addition, various hydrothermal minerals such as barite, alunite, sulphur, galena, manganese and iron oxides, and epithermal gold have been formed (Kelepertsis et al. 1990, Liakopoulos 1991, Fytikas and Markopoulos 1992, Ballanti 1997).

Hydrothermal alteration mapping using earth observation satellite data is possible because certain minerals show characteristic spectral features that permit their remote detection (Fraser 1991, Carranza & Hale 1999).

The Thematic Mapper of Landsat 5 permits the recording of the spectral variations of various hydrothermal alteration minerals with positive results.

Two different techniques of mapping the alteration zones were used in this study:

a) The band ratioing technique (Goetz, 1989, Cracknell and Hayes, 1991, Gupta, 1991, Fraser 1991, Rencz et al., 1994, Sabins, 1997, Harris et al., 1998, Parcharidis et al., 1998)
b) The Crosta technique, which is based on the Principal Component Analysis (Crosta and Moore 1989, Loughlin 1991, Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma 1998).

Finally, these two techniques are evaluated by taking into account the local conditions (atmospheric conditions, climate, topography, land cover etc.), which influence significantly the efficiency of both techniques.

The above-mentioned methods will be applied in the case of Milos island for the mapping of the hydrothermal alteration zones. Furthermore, the advantages and disadvantages of the two methods will be examined, and their complementary character will be evaluated.

2. GEOLOGICAL SETTING OF MILOS ISLAND

(i) Main stratigraphic units

The volcanism in Milos island is characterized by a calk-alkaline activity, from the Upper Pliocene to the Upper Quaternary. There are five (5) volcanic phases: The three of them are of the Upper Pliocene and are characterized by rocks rich in SiO_2 such us rhyolites, rhyolitic tuffites and dacites. The fourth phase took place in the Lower Quaternary and gave rise to mostly basic volcanic rocks (andesites and andesitic breccias). The last volcanic activity took place in the Upper Pleistocene and the rhyolitic lavas and the tuffites of Fyriplaka-Trahila were formed. The area can be characterized as volcanically active, although it hasn't shown such an activity the

1. Space Applications, Research Unit in Geosciences, Laboratory of Geophysics, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis-Ilissia, Athens 157 84 (GR), e-mail: parchar@geol.uoa.gr
2. Agricultural Univ. of Athens, Minerology-Geology lab, Iera Odos 75, 118 55, Athens, e-mail: egartz@aua.gr, mpsomiadis@aua.gr.

last 80.000 years. The strong fumarolic activity is an evidence of the presence of a warm magmatic source in depth.Four different stratigraphic units can be noticed in Milos (Fytikas et al., 1986), (fig. 1).

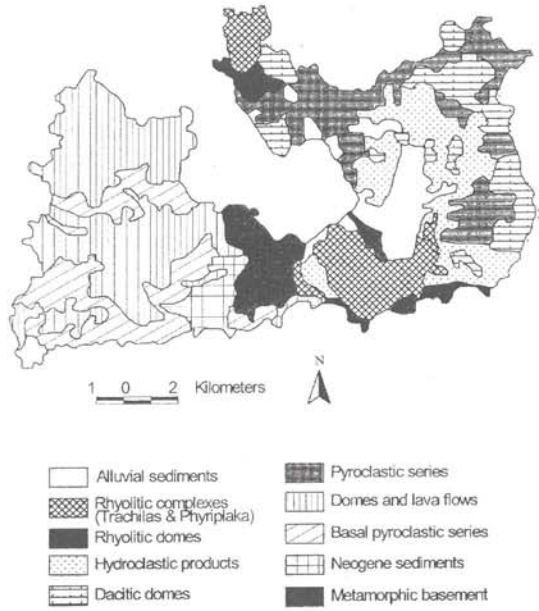


Fig.1: Geological map of Milos island (Fytikas et al., 1986).

- Metamorphosed alpine basement: it appears with small outcrops of strongly deformed metamorphic rocks, mostly in the southeastern part of the island.
- Neogene sedimentary sequence: some of its parts, from the Upper Miocene to the Lower Pliocene, appear in the southern part of the island (Fytikas, 1977).
- Volcanic sequence: volcanic and volcano-sedimentary units. This sequence can be classified in four main units: (a) A pyroclastic one occurring at the base (Middle-Upper Pliocene), (b) A complex of lava flow and domes (Upper Pliocene), (c) Pyroclastics and lava domes (Lower Pleistocene), (d) The acid complex of Fyriplaka and Trahila (Upper Pleistocene).
- Alluvial sediments: located in the Zefiria area and consist of clay, sand and gypsum of a total thickness of 80 m. Smaller outcrops appear around the Adamas village.

(ii) Tectonics

Milos island has been affected by the Post-Upper Pliocene tectonics. According to Papadopoulos (1993), the seismic activity of the island (March of 1992, Ms=5.3) is connected to structural deformations and not to the volcanic activity. The circulation of hydrothermal fluid in the crust is due to tensional faults (shear fractures) (Ballanti, 1997). Four main fault systems have been noticed: (a) NW-SE system, (b) E-W, (c) N-S, (d) ENE-WSW (Fytikas 1977, Tsokas 1985).

(iii) Hydrothermal activity

The widespread hydrothermal activity which is evident on Milos island (fig. 2) is related to the thermal anomalies due to the occurrence of shallow magma chambers (Vavelidis et al., 1998).

On the basis of geothermal studies (Fytikas 1977) and the presence of the active hydrothermal system in the southeastern coasts of Milos, it is concluded that there is a magmatic heat source, which provides the necessary thermal energy for the function of today's hydrothermal system. In addition, the southeastern part of the island is dominated by mineral outcrops, which are connected to a recent hydrothermal activity of an explosive character that created the hydrothermal craters in this area. Finally, the presence of hydrothermal alteration in the northwestern edge of the island, is an evidence of hydrothermal activity in this area. In any case, the extensive hydrothermal alteration zones occur in the eastern part of the island, north of the active hydrothermal system.

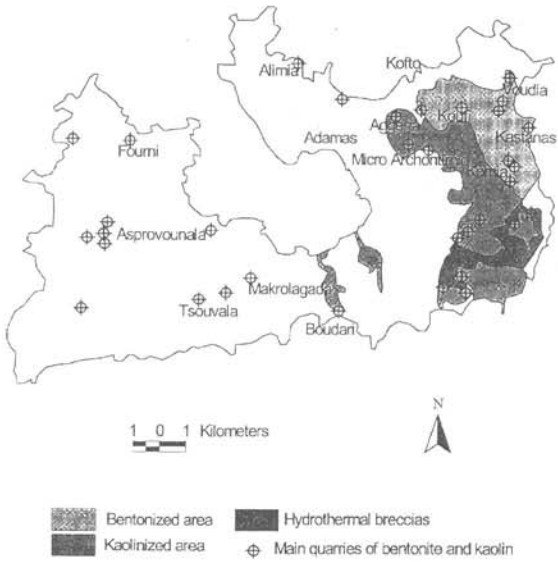


Fig.2: Map of the hydrothermal features of eastern Milos (Ballanti, 1997).

3. DATA USED AND THEIR PREPROCESSING

The study area is covered by the Landsat 5 TM image, path/row: 182/035 (column/row: 6920 x 5760), 7 spectral bands, dated 23/9/1987. This image has been chosen because of no cloud cover and of a high sun elevation angle, which offers better signal to noise ratio helping the mapping in this specific application. The ERDAS v.8.3.1 software has been used for the image processing of the satellite image and the ARC-VIEW v.3.1 for the digitising and manipulation of the spatial information.

The preprocessing of the Landsat TM data includes the radiometric and geometric correction of the data:

a) Atmospheric correction comes under the category of radiometric correction, which improves the ability to interpret and compare the digital satellite images. Relevant atmospheric parameters are the vertical profile of pressure, air temperature, humidity, ozone, aerosol type and content, which influence the absorption and scattering properties. In order to apply atmospheric correction the ATCOR2 for IMAGINE (Version 1.6) has been used.

b) The geometric correction, based on the EGSA87 georeference system by selecting a set of 19 ground control points, mainly along the shoreline, has been made. The nearest neighbor resampling method with a polynomial transformation of second order (and a new spatial resolution of 33m/pixel after the resampling) has been used.

4. SPECTRAL RECOGNITION OF THE ALTERATION MINERALS IN LANDSAT TM IMAGES

The characteristics of the spectral reflectance and emission of the rocks at various wavelengths are the result of their physical and chemical properties (Abrams et al. 1984, Goosens et al. 1994). The hydrothermal alteration minerals have a different distribution in the various types of the hydrothermal systems, which are characterized by groups of minerals that have spectral characteristics in the near and middle infrared. Referring to the clay minerals (kaolinite, smectite etc.), the spectral zone with a range from 2.1 to 2.4 μm is characterized by a high absorption whereas the maximum reflectance (takes places-occurs) at about 1.6 μm.

The iron oxides show a wide and strong absorption band of radiation, which is due to the transformation of their electrons, that is located in the region of the ultraviolet-visible blue, and it increases progressively to higher wavelengths. In addition, a spectral absorption channel of the Ferric iron (Fe^{+3}) is located in the region of the near infrared (Hunt et al. 1979, White et al. 1997).

The land cover, as far as it concerns the vegetation, is a serious problem because it presents absorption characteristics in the spectrum from 0.45 to 0.68 μm (due to the chlorophyll absorption) and a high reflectance at 1.6-2.2 μm (due to leaf water absorption).

at 1.6-2.2 μm (due to leaf water absorption).

The Thematic Mapper (Landsat recording instrument) allows the recognition of individual minerals, because of the recording range of its spectral bands.

Clay minerals show radiation absorption at wavelengths identical with the spectral band TM7 in connection with the potential detection of spectral recording of the Thematic Mapper. On the other hand, they show high reflectance within the spectral band TM5 (fig. 3). The iron oxides show low reflectance in the spectral band TM1 and a high one in the spectral band TM3 (fig. 4).

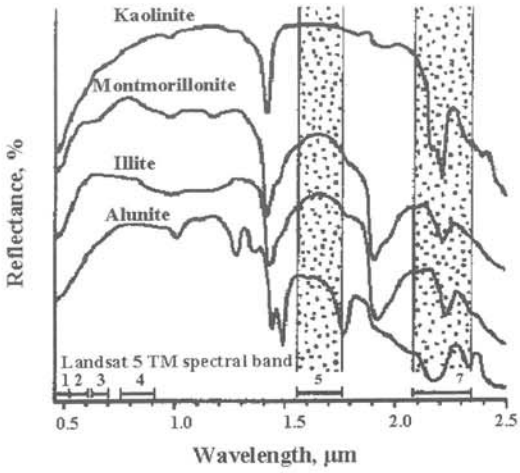


Fig.3: Spectral reflectance curves of the main clay minerals (Sabins, 1997).

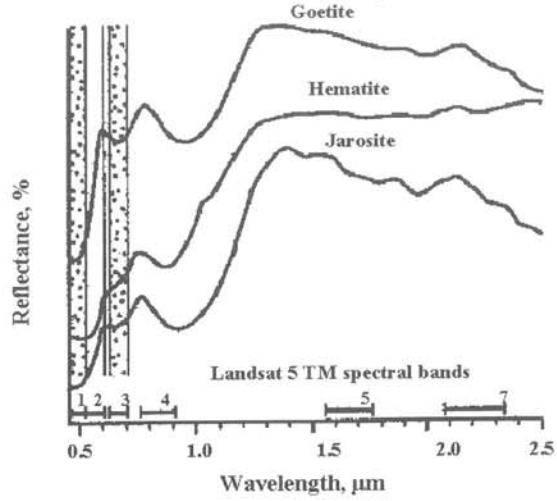


Fig.4: Spectral reflectance curves of the main iron minerals (Sabins, 1997)

5. THE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TECHNIQUE (CROSTA TECHNIQUE)

The principal components transformation is a statistic technique of many variables, which chooses non-correlated linear compositions (eigenvectors) of variables in such a way that each output principal component (linear composition) shows the minimum variance (Mather, 1991). This variable in the multispectral images is related to the spectral response of various surfacial characteristics.

The Crosta technique (Crosta and Moore, 1989) also known as Feature Oriented Principal Components Selection, permits the recognition of the principal components that give information related to the spectral responses of specific targets. An important advantage of the technique is that it predicts whether the surficial characteristics are enhanced by pixel with low or high digital number in the related principal component. The Crosta technique has been applied in the 6 bands (except the spectral band 6, thermal infrared). On table 1 the characteristic eigenvalues (in which the reduce in the variance of the information is shown for its component) as well as the eigenvectors, are shown.

We notice on table 1 that the component PC1 contains the 95% (very high rate) of the variance of the 6 spectral bands with values varying from 30.3 (TM1) to 48.5 (TM5) giving information mainly about albedo and the topography. In the second component PC2 the information is provided by TM4 (33.3) and TM5 (44.5) and it receives a negative contribution mainly by TM1 (-71.3). The importance of this image is that it contains the information for the vegetation distribution with the corresponding pixels having high digital numbers.

Table 1: Principal Component Analysis on six bands (eigenvector lodings in percentages).

	Eigenvector matrix (%) of original bands						
Input Bands	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	Eigenvalues (%)
PC1	30,3	35,7	38,2	46,1	48,5	43,2	95,8
PC2	-71,3	-33,7	-22,9	33,3	44,7	12,2	2,6
PC3	5,5	-21,8	11,9	-57,8	8,3	77,0	1,1
PC4	5,4	-18,5	-58,8	-2,2	51,0	25,5	0,3
PC5	-29,1	50,0	14,6	-56,3	49,0	29,0	0,1
PC7	-14,0	65,1	-64,8	15,5	-24,0	23,5	0,1

According to the spectral analysis curves and the range distribution of the Landsat spectral bands the components PC5 and PC6 are those that contain the spectral information relevant to the hydroxyd minerals and iron oxides. The interest is focused mainly on the components PC3 and PC6. The component PC3 has a positive contribution by TM3 (11.9), TM5 (8.3) and TM7 (77.0) in which the iron oxides display a characteristic high reflectance and a negative or very low positive contribution by TM2= -21.8 and TM1=5.5 in which the iron oxides show characteristics of spectral absorption. Thus, in this image the iron oxides are correlated to pixels with high digital numbers. The component PC6 receives a negative contribution by TM5 (-24.0) in which the hydroxides show characteristics of high reflectance and positive contribution by TM7 (23.5) where the hydroxyls show characteristics of spectral absorption. According to the spectral characteristics of the hydroxyls in PC6 image, the relative areas appear with pixels of low digital numbers and for this reason the invert technique has been applied.

A False Color image has been created, with the use of the components PC2, PC3 and PC6 (presented as gray scale image in fig. 5). In this gray scale image, the dark gray levels are related to natural vegetation or crops (according to their characteristics), the medium gray levels are related with the areas that iron oxides dominate and the light gray areas with the clay minerals. The combination of the last two shades of gray indicates alteration zones where clay minerals and iron oxides coexist.

Through the observation of the image we have concluded that the western part of the island, in its major extension, is covered by vegetation. This vegetation cover makes the mapping of the alteration zones impossible. The vegetation in the eastern part is limited and comprises sparse bushy vegetation and crops. Alteration zones are located, mainly in the eastern part of the island and specifically in the areas Aggeries, Micro Arcontimio, Kato Komia, Koufi, in the western part in the areas Asprovounala and Fourni and in the middle of the northern part, along a zone with NE-SW direction from Tsouvala up to Makrolagada. However, few areas along the coastal zone (extend from Alimia to Kofto, Voudia, Kastanas and Boudari) appear on the image with similar levels of gray and have been described as coastal clastic deposits derived actually from the altered rocks.

6. BAND RATIOING TECHNIQUE

According to what has been described about the spectral response of hydrothermal alteration minerals and

Fig.5: Gray scale image of the components PC3, PC6, PC2.

their recognition in Landsat TM images, we have come to the conclusion that:

- The ratio 5/7 of spectral images can be used for the recognition of clay minerals and at the same time, for the distinction of altered and non-altered rocks. These two rock types (altered and non-altered) appear to have the same reflectance in the image of spectral band TM5 and the non-altered rocks have the same reflectance in the image of the spectral band TM7. The ratio 5/7 gives values higher than 1, for the altered rocks.

- The iron oxides show a low reflectance in the spectral band TM1 and a high one in the spectral band TM3. Thus, the hydrothermally altered rocks, which are rich in iron oxides, have high values of the ratio 3/1.

The creation of Color Composite Ratios is a technique that enhances the information through the creation of three color composite ratios and their correspondence in colors Red, Green, Blue.

After that, three kinds of digital analysis have been made.

- Determination of the Color Composite Ratios (CCR) of the spectral bands.
- Application of the technique masking the vegetation
- Detection of the most important alteration zones.

The first step was the enhancement of the initial ratio images according to the equation: Ratio image = atan (spectral band A/ spectral band B)

Then using these enhanced images, a false color composite image with ratios 3/1, 4/3, 5/7 (R, G, B) was created (presented as gray scale image in fig. 6).

The second digital analysis concerned the presence of vegetation in the area, because it hides possible altered areas. For this reason the image of Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) has been created according to the equation: NDVI = (TM4-TM3)/ (TM4+TM3)

The value "0" has been given to the pixels correlated to the vegetation and then the mask technique was applied (black color in the image).

Finally, using the latter image, the detection of the main hydrothermal zones has been made. In this image, the hydrothermally altered zones appear with dark gray levels. These zones are located especially in the areas Aggeries (with ring shape), Kato Komia and Asprovounala, mostly in the eastern part of the island. In the areas Voudia and Kastanas located along the coastal zone the appearance of similar gray levels on the image, due to clastic deposits derived from the altered areas.

7. CONCLUSIONS

We have observed the following after the analysis and the interpretation of the two different final products using as guide area, Voudia location in fig. 7:

a. In the composite image of the ratios, the mask technique (using and the good knowledge of land cover of the area) minimizes the influence of vegetation on the signal reflectance characteristics of the altered areas.

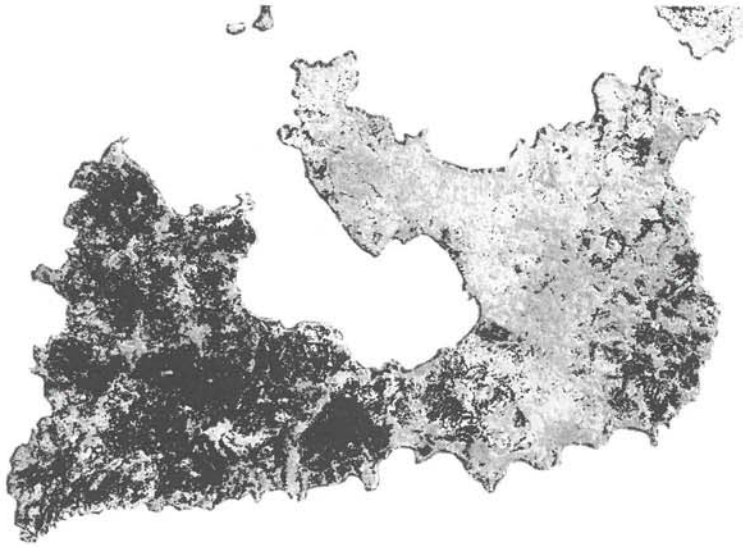


Fig.6: Gray scale image of the ratios 3/1, 4/3, 5/7.

b. In Crosta technique is obvious that principal component values do not form the ideal correlation, for the exact enhancement of the aiming characteristics (hydrothermal alteration minerals).
c. The geometry of the alteration zones is enhanced when the band ratioing technique is used.
d. The clay minerals alteration zones appear more clearly to the interpreter with the Crosta technique, in a quick visual interpretation.

In conclusion it can be deduced that in cases like the one of Milos (alternating morphology, semiarid climate and differentiation in vegetation from nude relief to dense bushy), both techniques have given good results and in many occasions, the two techniques complement each other.

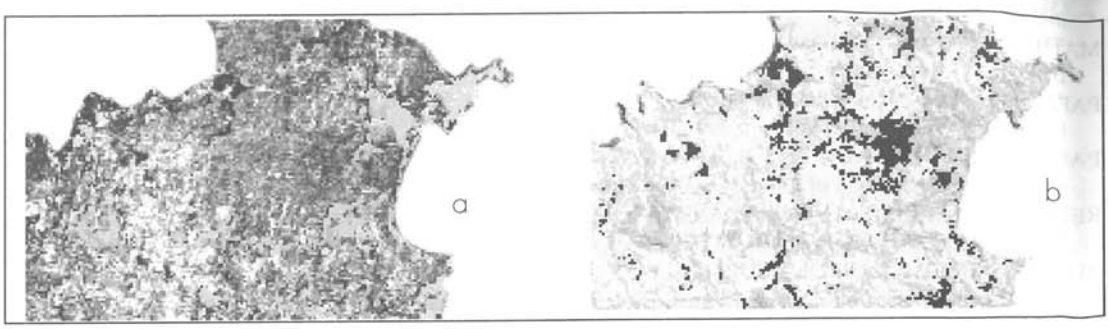


Fig. 7: Composite Images in gray scale, a) Crosta technique, b) Band ratioing technique, for the area Aggeries-Voudia.

REFERENCES

ABRAMS, M., KAHLE, A., 1984. Recent developments in lithologic mapping using remote sensing data. In Remote sensing for geological mapping, edited by P.Teleki and C.Weber, No.18, publication IUGS, US.

BALLANTI, D.D., 1997. Origin of the bentinite and barite deposits on Milos island (Central Aegean, Greece). Ph. D. Thesis, p. 237, E.T.H., Zurich.

CARRANZA E.J.M., HALE M., 1999. Image processing and GIS for hydrothermal alteration mapping, Baguio District, Philippines. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Remote sensing of the system earth-a challenge for the 21st Century, p. 1238-1240, Hamburg, Germany.

CRACKNELL, A.P., HAYES, L.W.B., 1991. Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis, p. 293, London.

CROSTA, A.P. AND MOORE, J. MCM., 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil: A prospecting case history in Greenstone Belt terrain. Proc. Of the 7th (ERIM) Thematic Conference: Remote Sensing for exploration geology, p. 1173-1187, Calgary.

FRASER, S.J., 1991. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 12, No.12, p. 635-641.

FYTIKAS, M. 1977. Geological and Geothermal Study of Milos Island. Ph.D. Thesis, Athens.

FYTIKAS, M., INNOCENTI, F., KOLIOS, N., MANETTI, P., MAZZUOLI, R., POLI, G., RITA, F., VILLARI, L., 1986. Volcanology and petrology of volcanic products from the island of Milos and the neighboring islets. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.28, p. 297-317.

FYTIKAS, M., MARKOPOULOS, TH., 1992. 6th Congress of the Geological Society of Greece Post-Congress Field Trip to Milos May 28-30, 1992 Guide Book. p. 34.

GOETZ, A.F.H., 1989: Spectral Remote Sensing in geology, Theory and applications of optical Remote Sensing, p. 491-526, John Wiley and Sons.

GOOSENS, M.A. AND S.B. KROONENBERG, 1994. Spectral discrimination of contact metamorphic zones and its potential for mineral exploration, province of Salamanca, Spain: *Remote Sensing of the Environment*, Vol.47, p.331-344.

GUPTA, P.R., 1991. Remote sensing in Geology., p. 356, Springer-Verlag.

HARRIS, J.R, RENCZ, A.N., BALLANTYNE B. AND SHERIDON, C., 1998: Mapping altered rocks using TM and lithogeochemical data: Sulphurets-Brucejack lake district, British Columbia, Canada, *Photogr. Engin. and Remote Sensing*, Vol.64, No.4, p. 309-322.

HUNT, G.R. AND ASHLEY R.P., 1979: Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, Vol.74, p. 1613-1629.

KELEPERTSIS, A., ECONOMOU, K., SKOUNAKIS, S., PORFYRIS, S., 1990. Mineral and chemical composition of kaolins from Milos Island, Greece – procedure of kaolinite enrichment. Appl. Clay Sci., Vol.5, p. 277-293.

293.

LIAKOPOULOS, A., 1991. La genèse de bentonite de Soulias (Île de Milos, Grèce): Une approche géochimique. *Mineral Wealth*, Vol.75, p. 41-49.

LOUGHLIN W.P., 1991: Principal component analysis for alteration mapping, *Photog. Engin. and Remote Sensing*, Vol.57, No.9, p. 1163-1169.

MATHER, M.P., 1991. Computer processing of remote sensing and image interpretation. J.Willy & Sons, Great Britain.

PAPADOPOULOS, G.A., 1993. The 20 March 1992 South Aegean, Greece, earthquake (Ms=5,3): Possible anomalous effects. *Terra Nova*, Vol.5, p. 399-404.

PARCHARIDIS IS., GARTZOS E., PSOMIADIS EM., 1998. Alteration zones detection in Lesbos island, through the application of Landsat 5 TM band ratio images. *Mineral Wealth*, Vol.112, p. 37-46.

RENCZ, A., HARRIS J. AND BALLANTYNE, S.B., 1994. Landsat TM imagery for alteration identification, Current Research 1994-E, p. 277-282.

RUIZ-ARMENTA, J.R., PROL-LEDESMA, R.M., 1998. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico. *Int. J. Remote Sensing*, Vol.19, No.10, p.1981-2000.

SABINS, F.F., 1997. Remote Sensing: Principles and Interpretation. W.H. Freeman and Company, p. 494, New York.

TSOKAS G., 1985. A geophysical study of Milos and Kimolos Islands. Ph.D. thesis Univ. Thessaloniki, p. 200.

VAVELIDIS M., MELFOS V., 1998. Fluid inclusion evidence for the origin of the barite silver-gold-bearing Pb-Zn mineralization of the Triades area, Milos island, Greece. Proc. of the 8th International Congress, Patras, Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol.XXXII/3, 137-144.

WHITE, K., WALDEN, J., DRAKE, N., ECKARDT, F. AND SETTLE, J., 1997. Mapping the Iron Oxide Content of Dune Sands, Namib Sand Sea, Namibia, Using Landsat Thematic Mapper Data. *Remote Sensing of the Environment*, Vol.62, p.30-39.

Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/5, 2055-2062, 2001 Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXIV/5, 2055-2062, 2001
Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001 Proceedings of the 9th International Congress, Athens, September 2001

MULTITEMPORAL HAZARD ASSESSMENT IN A HIGH FLASH FLOOD RISK AREA USING RS/GIS TECHNIQUES: THE CASE OF HYMITTOS MT. (ATHENS)

IS. PARCHARIDIS[1], E. LAGIOS[1], E. PSOMIADIS[2]

ABSTRACT

This study concerns the multitemporal flood hazard assessment using remotely sensing data in a GIS context. The study area is located in the western slopes of Hymittos Mt. facing Athens city, which constitute a very critical environment for flash floods combining considerable characteristics like steep slopes, urban expansion, fire events and different land cover types.

Landsat TM images and Landsat ETM+ images were used to demonstrate their usefulness for the temporal change detection, and IRS-1C data have been used for the detection of urban parameters. The conclusion of this study was the monitoring of how the natural and antropogenetic changes, affect the hazard and thereupon the flash flood risk conditions of Hymittos Mt. area.

KEY WORDS: Remote Sensing, GIS, hazard, flash flood, change detection, PCA, NDVI, Hymittos Mt.

1. INTRODUCTION

Rainfalls vary in intensity and duration, and so does the volume of rainwater that runs across the land. Large convective thunderstorms can build up in a matter of hours and quickly set loose the terrifying walls of water known as flash floods, and strike at any time and at any place with little or no warning (Abbott, 1996). In mountainous or flat terrain, distant rain may be channeled into gullies and ravines, turning a quiet streamside campsite or wash into a rampaging torrent in minutes. City streets can become rivers in seconds. Floods are the most visible and destructive hydrologic phenomenon in terms of human and economic loss. As much as 90% of the damage related to natural disasters is caused by floods and associated mud and debris flows (Smith and Ward, 1998). Floods create hazards in several ways:

a) Loss of life, property and services and other social impacts associate with flood flows, b) Scour and deposition in natural channels, c) Erosion of channel banks and beds and deposition of sediments in channels and others areas, d) Possible transport of large quantities of pollutants, e) Landslides and debris flow, f) Alteration of hydrologic characteristics of basins.

Understanding the causes and consequences of floods requires continued research on the geomorphology of the basins as well as monitoring of the correspondent land use changes affecting the hazard.

Cooke and Doornkamp (1990) describe three groups of interrelated factors constitute important flood characteristics: the transient phenomena including the most common cause of flooding which is the heavy precipitation (Barry and Chorley, 1982). The second group is relative to the basin characteristics, drainage network and channel characteristics (geometry, slope etc.) and finally there is a clear relationship between urbanization and changes in the unit hydrograph (Hollis, 1979). According to Alexander (1993) the flooding events in urban areas increase and become more destructive mainly because of:

a) The forcedly constraint of the streambeds at the urbanized areas due to uncontrolled urbanization, b) The barring of the streambeds either by buildings or by debris, especially where failed technical constructions have been made, c) The forest fires and the loss of trees, in general, taking place inside the watersheds around an urban area, d) The decrease of the infiltration along with the increase of surfacial run off as a result of the urbanization, e) The failure in the constructed flood technical works that are not compatible with the environment and in general with the geodynamic settings that take place around the particular area.

Earth observation data are still not in use for the support of the response in a flood event (real-time provision of the data. They could contribute to study and asses the flood risk in an large area as well as to record the flooded zones using multitemporal images (Mc Ginnis and Rango, 1975, Ochi et al. 1991, Biggin and Blyth,

1. Space Applications Research Unit in Geosciences, Laboratory of Geophysics, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis-Ilissia, Athens 157 84 (GR); e-mail: parchar@geol.uoa.gr, lagios@geol.uoa.gr
2. Remote sensing & GIS Applications, Agricultural Univ. of Athens, Minerology-Geology lab, Iera Odos 75, e-mail: mpsomiadis@aua.gr

1996, Sharma et al., 1996, Brakenridge et al. 1998, Parcharidis et al., 2000).

The objectives of this paper are to define the morphological properties of the basins and compute the changes over them using satellite data in a GIS context. Furthermore will be examined the affection of these changes to the hazard variation of them. The relative change in land use over time will be compiled by using satellite data and the morphological and hydrological characteristics will be automatically computed using as base the DEM.

2. GEOLOGICAL-LANDUSE AND METEOROLOGICAL SETTING OF THE STUDY AREA

The Hymittos Mt is located just east of Athens city. The highest point is about 1030 meters and the general direction of N-S. Regarding the lithostratigraphic units Marinos and Petrascheck (1956) and Katsikatsos (1977) suggest the existence of two main geotectonic units (the autochthonous and the allochthonous nappe). Mariolakos and Papanikolaou (1973) revised partially the Lepsius's (1893) lithostratigraphic structure. Lekkas and Lozios (2000) recognized the following units:

a) The lowermost unit, of Vari-Kirou unit represented by a mica- and calc schist formation passing to a sequence of dolomitic and impure marble to a massive dolomite, b) The "Hymittos unit" consisting from the lower to the upper by whitish and bluish marble, schists with marble intercalations, alternates of schists, marble and impure marble, c) The upper most unit of "Lavrio-Athens".

The expansion of Athens city building up shell during the last three decades, contributes to the sprawl building of the slopes facing the basin and this expansion in synergy with the fires produce a high-risk environment for flash flows during extreme weather conditions.

The last 15 years a high number of fires have affected the study area. A total of 16 fire events of different spatial extension and distribution (fig. 1) have occurred (Source: Data base of Institute of Forest Research).

Athens is one of the driest areas of eastern continental Greece. It is characterized by a uniform amount of precipitations during the year, with high intensity which leads to the loss of big quantities of water, through the surface runoff.

The meteorological conditions in Athens according to National Observatory Institute of Athens for the period 1931 to 1992 are the following: The mean high precipitation yearly is about 393 mm, while the minimum and maximum precipitation high yearly varies from 370 to 1100 mm. The most intensive rainfalls, with intensity 3,6 mm/day, happen during the period from September to January and particularly during November. During November take place rainfalls with average value intensity of 6,7 mm/rainday. Oppositely, for the rest of the months the intensity is less than 3,6 mm/rainday.

3. DATA USED - PREPROCESSING

-Digital Elevation Model

The starting point for this study has been the DEM of the area under consideration. In order to create the DEM, the elevation data have been extracted from the 1:50000 scale topographic maps published by the Hellenic Army Geographical Service. The elevation data has been captured by digitizing the contour lines with an equidistance of 10-20 meters in the plain and 40 meters in the highland. Additionally, surface-specific points elevations, including high and low points, have been digitized in order to improve the final digital product. The gridding interpolation method was applied in order to generate the DEM. Also an adaptive smoothing algorithm has been used allowing the local slope-dependent errors in order to be associate with the finite difference representation. Furthermore, an adaptive surface roughness penalty minimizes the profile curvature.

The obtained resolution of the DEM was 25m/pixel. In order to verify its fidelity, the digital elevation model has been again plotted in a 1:50000 scale contour map, by interpolating the elevation values and overlapping them onto the original topographic map, showing thus a very good correspondence of the contour lines.

-Multispectral and high resolution Satellite data

Two Landsat multispectral image segments (free of clouds) have been used covering the study area with the following characteristics:

i. Landsat TM 7 spectral bands, dated 26-7-84
ii. Landsat ETM 7 spectral bands, dated 6-8-99
iii. A high-resolution panchromatic subscene of the Indian Satellite IRS-1C, dated 10-10-99 with less than 10% of cloud cover.

-Preprocessing-Registration

First the panchromatic image of IRS-1C was geometrically corrected utilizing 68 control points well distributed with a few points scattered over the study area. The projection system that has been used in order to georeference the image was the EGSA'87 and then the nearest neighbor method for resampling a spatial resolution of 5 m/pixel has assigned. Next step was the geometric correction and co-registration of the two Landsat images using as reference source data the already georeferenced IRS-1C panchromatic image, with an error of less than one pixel and spatial resolution of 25 m/pixel for both Landsat images.

-Data Processing and analysis

The basins of the area were calculated automatically from the DEM using as minimum area the 2500 cells, in a second step some of the selected basins have been unified. The properties for each of the basins have been stored in an attribute table with the following fields containing the numeric information (table 1):

a) id, the identification number for each basin, b) Basin area, that is the area draining to catchment's outlet, with runoff volume significance, c) Perimeter of the basin, d) Flow length distance, e) Mean stream flow length, determining, with the previous parameter, the stream sinuosity, f) Mean elevation, the mean basin elevation in meters above the sea level with significance about climate, vegetation, and potential energy, g) Mean slope, with significance about overland water flow velocity, geomorphology etc.

The above parameters and their significance constitute the primary attributes in order to describe the morphometry, catchments position and surface attributes of hillslopes. In total 10 basins have been discriminated on the slope facing Athens city (fig.1). The result has been evaluated by overlapping the boundaries of these basins on the DEM. The result is good and the only negative aspect of the automatic discrimination is the existence of small parts of the DEM that have not been classified in a basin.

Table 1. The data attribute table, containing information regarding the hydrological and morphological characteristics of the recognized basins.

Basin-id	Basin area	Perimeter	Mean flow distance	Mean stream length	Mean elevation	Mean slope (%)
5	13159050	21250	4683	1170	324.14	10.187
8	6651250	20450	7892	5439	425.58	14.367
9	6727500	17950	7398	4938	471.57	16.709
10	5163750	12100	4077	693	345.77	14.468
14	1900000	8800	3617	25	380.09	16.137
16	6753125	17500	6287	2152	310.70	16.330
19	9606250	19450	6054	2539	292.90	14.480
23	5961250	13500	5552	1325	117.95	9.070
25	2260000	14150	5434	2034	217.80	11.098
28	2868750	13800	4930	2051	68.86	7.029

This computation problem probably is due to the limited capability of the system to insert and classify small areas which are less than the predefine numbers of cells. An attribute table accompanies the graphic map of the basins, showing the fields which correspond to the hydrological and morphological information.

4. SATELLITE DATA PROCESSING AND ANALYSIS

The principal components transformation is a redundancy reduction technique that generates a new set of eight variables (components), starting from the original bands, with which to describe multispectral remote sensing data (Richards, 1994). According to the fact that the first component contains more of the variance in the data, the second contains the next major portion of variance etc. Additionally, their principal component axes correspond to uncorrelated data so it could be used as a data transform to enhance areas of local changes in multitemporal multispectral images (Fung and Le Drew, 1987).

From the registered Landsat subscenes the first four bands, of both dates, have been selected, in total 8 bands, from which a new set of eight principal components have been generated. The first component corre-

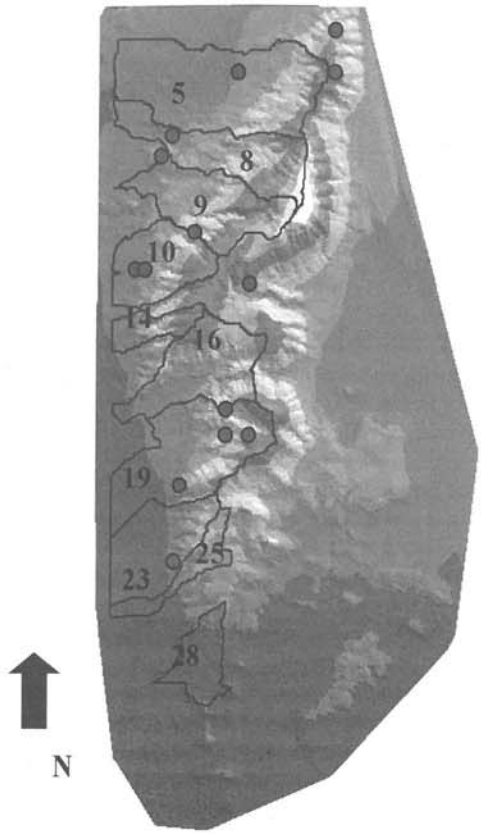


Fig.1. The automatically discriminated basins in the east facing slope of Hymittos Mt. In the image are also recognized the two areas not included in a basin, and with circles the starting point of the fires that affected the area the last 15 years.

sponds to the brightness image (information concerning topography) while the rest of the components contain spectral information related to the surficial changes that took place during the time separation of the two images. The burned areas (old and new) are shown in the PC2, PC3 and PC4 as darker or slightly lighter than the average of the image. The built up areas are well discriminated from the non-built up areas mainly in the PC4 and secondary in the PC2. The revegetation is shown as bright pixels in the PC3 image mainly along streams of Hymittos and the new green-zones in the build-up shell. The last four PC's contains a small amount of information relative to other applications and "noise".

a) A composite image has been created using PC3, PC2 and PC4 components. This shows the burned areas of different times of occurrence as dark gray, urban areas as medium gray and light gray for mixed areas, build-up and vegetated areas (fig. 2a).
b) Using the third and forth bands of both dates Landsat images the NDVI images have been created. By creating a layer stack of the two NDVI images a new change detection image was generated (fig. 2b), in which the dark gray levels represent the deforested areas while medium gray the reforestation during the period 1984-1999, and the light gray the unchanging vegetated land-cover.
c) From the IRS-1C PAN the building blocks, the main streets parallel to the outlet of the basin and the streams crossing the city have been recognized and have digitized on screen (fig. 2c).

5. RESULTS-DISCUSSION

The polygons corresponding to the basins were transferred from ArcView to ERDAS and converted into raster format. In this form have been used as a mask in order to crop the initial images into basin extension images.

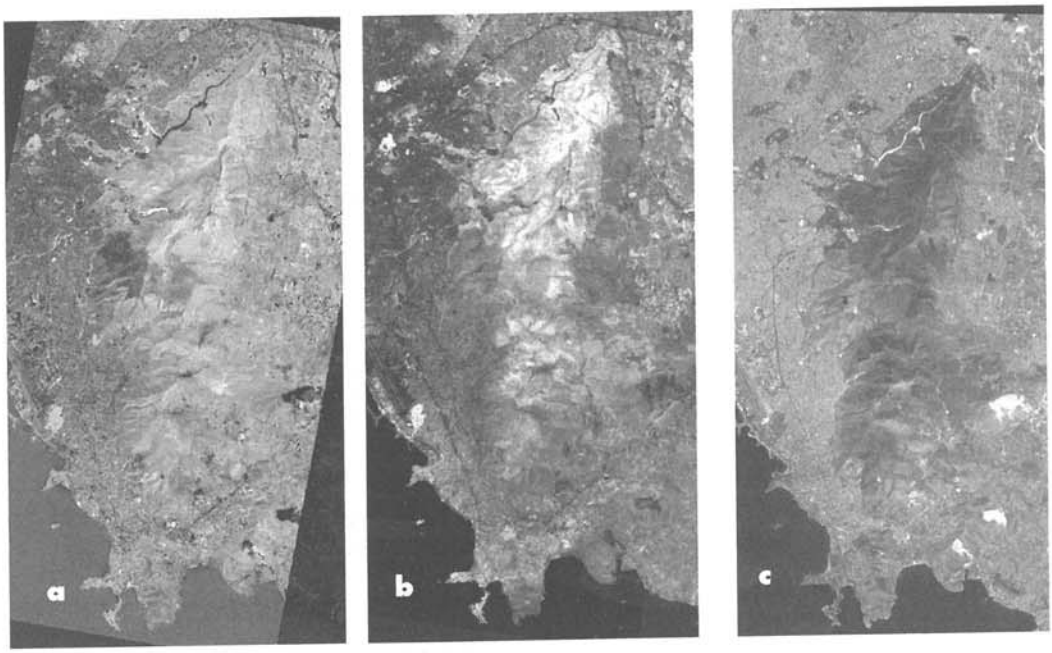


Fig.2. The composite image using PC3, PC2, PC4 in gray scale (a), the NDVI layer stack image using NDVI84 and NDVI99 (b), the IRS-1C Pan image with 5m/pixel of resolution (c).

By incorporating all the above processed data, three characteristic basins have been chosen taking into account the crucial parameters which can affect the flash flow hazard and the related hazard changing:

Basin 5

Basin 5 is located at the northwestern part of Hymittos Mt. close to the Zografou and Papagou districts (fig. 3).

The large size of the basin especially when the rainfall event covers part of it, diminishes the flash flood risk. In addition, the high value of the ratio of Mean flow distance to Mean stream length (showing a relative high sinuosity) and the small value of mean slope, show a low susceptibility in flash flood conditions. Oppositely, the fact that the urban area covers almost the half of the basin, constitute a disadvantage because reduces the infiltration of the rainfall and increases the direct surface runoff. This creates problems especially in the downstream part of the basin where the urban cover is located.

The interpretation of basin 5 shows that the experienced changes were located mainly to the eastern part. The basic changes occurred in the construction of Attica highway and in small expansion of building shell to the eastern part of the city. The natural vegetation cover at the uppermost hills has not changed during the last 15 years. Also, it is obvious that the revegetation occurs mainly along the streams and in some small regions inside the urban area (small parks).

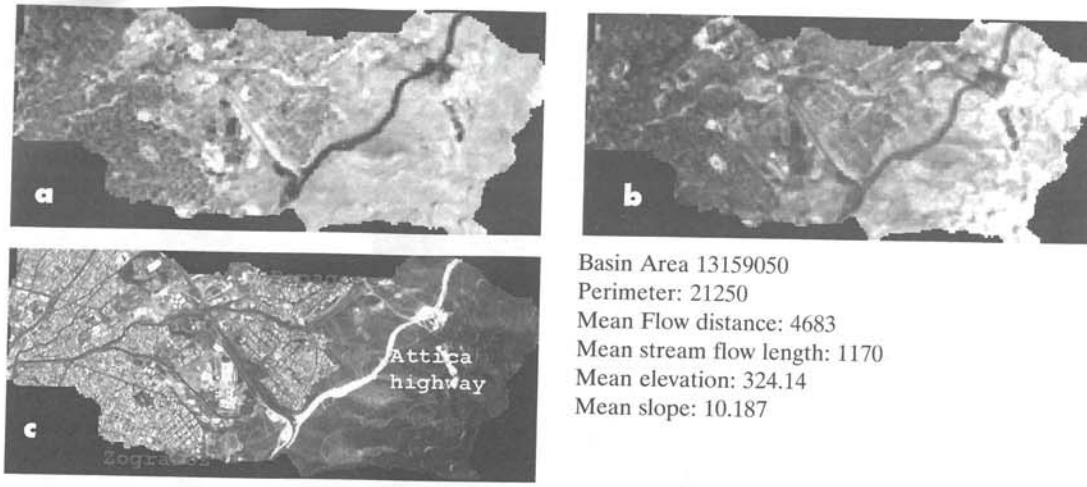
The main streets in the urban area are parallel with the drainage network (figure 3c) contributing to the stormwater runoff. Conversely, Attica highway constructed perpendicular to the drainage flow direction blocking in that way the channels. For this reason flood controls and efficient sewers construction are needed.

Generally, all the above parameters lead to the conclusion that in basin 5, the last 15 years, hazard has remained stable. Thereupon, is not expected any aggravation to the flash flood events.

Basin 16

Basin 16 is located at the middle part of Hymittos Mt. close to the northern part of Elliniko district (Fig.4).

This basin is characterized as a small size area, with a small value of the ratio of Mean flow distance to Mean stream length (showing a relative low sinuosity) and steep slopes (16,3%). These characteristics indicate a high susceptibility in flash flood events. Another characteristic of the basin is that only a small part of it is covered by the urban "impermeable" area and thus decreases the direct surface runoff. On the contrary, the small size of this basin, the narrow mountain shape and the crucial parameter concerning the pointing of the build-up area



Basin Area 13159050
Perimeter: 21250
Mean Flow distance: 4683
Mean stream flow length: 1170
Mean elevation: 324.14
Mean slope: 10.187

Figure 3. Basin 5. The grayscale composite image using PC3, PC2, PC4 (a), the NDVI layer stack image using NDVI84 and NDVI99 (b), the IRS-1C Pan image (c).

exactly at the outlet of the basin (hence, receiving a big volume of rain water from all the watershed in a very small span) revoke the above advantage.

In this basin, fire events in the last 15 years have led to a very intense deforestation located in the north and northeastern uppermost parts. The building shell expansion appears in very small areas and vegetation regrowth appears vigorous mainly along the streams. Furthermore, the direction of the main streets of the city is parallel with the basin's outlet so the flash flow is with increased velocity.

The above analysis shows that basin 16 has undergone dramatic deforestation changes over the past 15 years. This extensive deforestation and urban expansion will affect soil structure and reduce infiltration rates and water storage, hence, will increase accordingly the runoff volumes and suspended solids loads.

Considering the above parameters an aggravation of flood hazard was estimated. Taking into account this element and the present high susceptibility can conclude that the basin can be classified as a high-risk area for dangerous flash flood events.

Basin 19

Basin 19 is located at the southern part of Hymittos Mt. close at the southern area of Elliniko district.

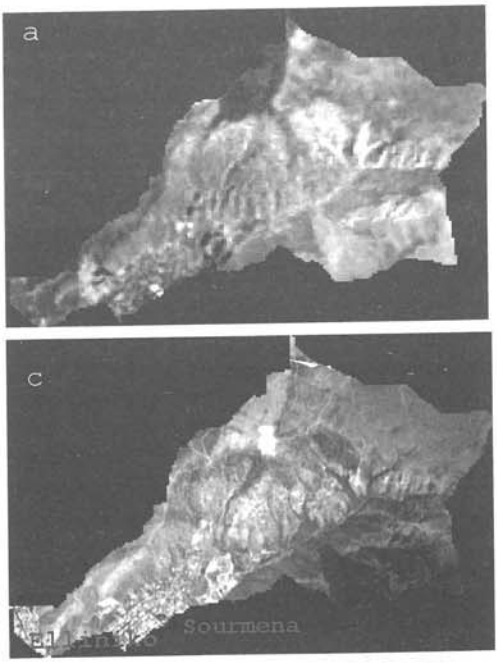
This basin is relatively big with steep slopes and with a small value of the ratio of Mean flow distance to Mean stream length (have very low sinuosity, creating high velocity of rainwater surface runoff).

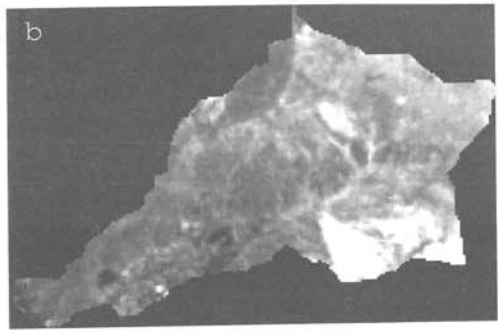
The major changes pointed in the urban expansion are located mainly to the eastern part of the city (the black zone in figure 5a). Additionally, the revegetation along the main streams was significant.

It is clear that the bigger part of the basin covered by the urban shell, minimizes the infiltration rate. Simultaneously, the main streets do not fit with the flow direction of the streams that drain in the basin. These two parameters increase the surface runoff and change the channel morphology and transmissibility. These components lead to the hazard aggravation during the study period increasing the susceptibility of basin 19 to flash flood events.

6. CONCLUSIONS

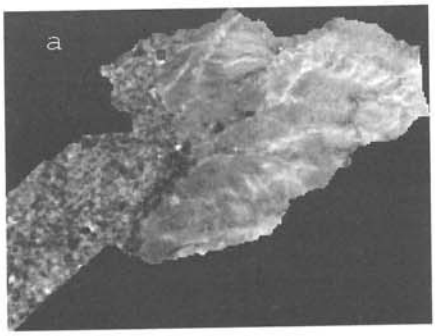
- The combination of remote sensing and GIS techniques is a helpful tool for the detection of land use patterns changes over time in relation to economic, social and environmental factors. Understanding the nature of changes in the environment, in both natural and anthropogenic environment, is an essential knowledge to facilitate proper planning, management and regulation for natural risk management.
- -Satellite data of high spatial and spectral resolution could be used but an additional effort should be done in order to improve the operation ability of this type of data.
- In this application considerable changes in land use were recorded in Hymittos Mt. during the period 1984-1999. According to these changes the flash flood hazard for this period was estimated concluding that there were different levels of aggravation for each basin.

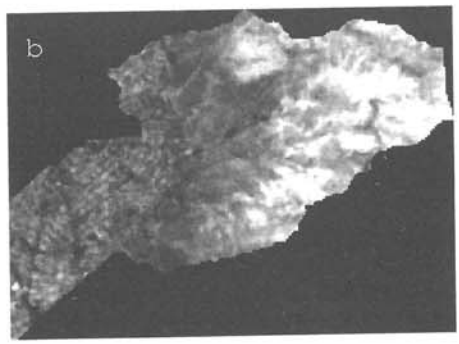




Basin Area: 6753125
Perimeter: 17500
Mean Flow distance: 6287
Mean stream flow length: 2152
Mean elevation: 310.70
Mean slope: 16.330

Figure 4. Basin 16. The grayscale composite image using PC3, PC2, PC4 (a), the NDVI layer stack image using NDVI84 and NDVI99 (b), the IRS-1C Pan image (c).





Basin Area: 9606250
Perimeter: 19450
Mean Flow distance: 6054
Mean stream flow length: 2539
Mean elevation: 292.90
Mean slope: 14.480

Figure 5. Basin 19, The grayscale composite image using PC3, PC2, PC4 (a), the NDVI layer stack image using NDVI84 and NDVI99 (b), the IRS-1C Pan image (c).

REFERENCES

ABBOTT, L.P., 1996. Natural Disasters. Wm.C.Brown Publishers, p. 438, San Diego.

ALEXANDER, D., 1993. Natural Disasters. UCL Press, p. 632, London.

BARRY, R.G., CHORLEY, R.J., 1982. Atmosphere, Weather and Climate, Methuen, London,

BIGGIN, D.S, BLYTH, K, 1996. A comparison of ERS-1 satellite radar and aerial photography for river flood mapping. *J. of the Chartered Institution of water and environmental management*, 10: (1), p. 59-64.

Brakenridge, G.R., Tracy B.T. and Knox J.C. (1998). Orbital SAR remote sensing of a river flood wave. *Int. Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, (7), p. 1439-1445.

COOKE, R.U., DOORNKAMP, J.C., 1990. Geomorphology in environmental management, Clarendon Press, Oxford, p. 410.

FUNG, T., LEDRAW, E., 1987. Application of principal components analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 53, p. 1649-1658.

HOLLIS G.E., 1979. Man's impact on the hydrology cycle in the UK, Geobooks, Norwich UK.

KATSIKATSOS, 1977. La structure tectonique d'Attique et de l'île d'Eubée. Vith Coll. On the Geol. Of the Aegean Reg., Athens 1977, (I.G.M.E Publ.), Proceedings V.1, p.211-228.

LEKKAS, S., LOZIOS, S., 2000. Tectonic structure of Mt. Hymittos. Annales Géologiques des Pays Helléniques, 38, Fasc.C, p. 47-62, Athens.

LEPSIUS, R., 1983. Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorhismus der Gesteine. 196S, Berlin 1893, p. 592.

MARINOS, G., PETRACHECK, W., 1956. Laurium. I.G.M.E. Geol. Res., V/1, p.247.

MARIOLAKOS, I., PAPANIKOLAOU, D., 1973. Observations on the tectonic structure of Western Pentelikos Mt. (Attica-Greece). Bull. Of the Geol.Soc. of Greece, X/2, p.134-179.

Mc GINNIS, D. F., RANGO, A., 1975. Earth resources satellite systems for flood monitoring. Geophysical Research Letters, vol. 2, p. 132-135.

OCHI, S., RAHMAN, M. N., KAKIUCHI, H., 1991. A study on flood risk evaluation in Bangladesh using remote sensing and GIS. Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.30, No.6, p. 34.

PARCHARIDIS, IS., LEKKAS, E., VASSILAKIS, E. 2000. SIR-C/X Space Shuttle images contribution in assessment of flood risk: the case of Athens basin. Int. Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2000), 24-28/7 Hawaii, Vol. I, p. 328-330.

RICHARDS, J.A., 1994. Remote sensing digital image analysis. Springer-Verlag, 2nd edition, p.340, Germany.

SHARMA, PK, CHOPRA, R, VERMA, VK, THOMAS, A., 1996. Flood management using remote sensing technology: The Punjab (India) experience. *Internat. Journal of Remote Sensing*, 17: (17), p. 3511-3521

SMITH, K., WARD, R., 1998. Floods: Physical Process and Human Impacts. John Wiley ed., UK, p. 382.